



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Projet de Master

Evaluation ex-ante de la viabilité de projets de rénovation de
bâtiments d'habitation

Ce projet a été réalisé en collaboration avec Losinger-Marazzi.

Professeur : Edgard GNANSOUNOU

Superviseur en entreprise : Philippe CORDIN

Etudiante : Nolwenn BARBE

Semestre d'automne 2018/19

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire. Tout d'abord, un grand merci au Professeur Gnansounou, qui m'a aidé et suivi depuis la formulation du sujet de ce travail jusqu'à sa soutenance. Je souhaite remercier particulièrement Philippe Cordin, qui m'a supervisé au sein de Losinger-Marazzi, qui m'a guidé et conseillé tout au long de mon projet de master, et qui m'a permis de rencontrer différents experts au sein de l'entreprise. Enfin, je remercie sincèrement toutes les personnes chez Losinger-Marazzi qui m'ont consacré du temps, m'ont partagé leurs connaissances et transmis les données nécessaires à la réalisation de ce travail, notamment Vincent Payet et Damien Robin qui ont pris plusieurs fois le temps de me conseiller et de revoir mon projet. Sans toutes ces contributions, ce projet n'aurait pas pu aboutir.

SOMMAIRE

Remerciements.....	3
Liste des Figures.....	8
Liste des Tableaux.....	9
Introduction.....	11
Première Partie :.....	12
Considérations sur le contexte actuel.....	12
1. État de l’art.....	14
2. Stratégie énergétique 2050.....	18
3. Obligations légales.....	20
3.1 Harmonisation des cantons.....	20
3.2 Obligations du canton de Genève.....	21
4. Les programmes de subventions.....	23
Deuxième partie :.....	26
Analyse de l’optimum technico-économique d’un projet de rénovation.....	26
1. Méthodologie.....	28
2. Base d’étude et hypothèses.....	31
2.1 Bâtiments étudiés.....	31
2.2 Hypothèses.....	31
3. Résultats généraux des évaluations.....	33
3.1 Analyse des performances.....	33
3.2 Évaluation économique.....	33
3.3 Évaluation environnementale.....	37
4. Analyse au cas par cas.....	39
5. Généralisation des Résultats.....	52
6. Étude du coût du kWh économisé.....	56
6.1 Coût du kWh économisé global.....	56
6.2 Coût du kWh subventionné économisé.....	57
Troisième Partie :.....	58
Mise en place d’un outil d’évaluation de scénarios de rénovation énergétique....	58
1. Méthodologie pour la mise en place de l’outil.....	60
1.1 Définition des scénarios.....	60

1.2	Évaluation énergétique.....	63
1.3	Calcul de la baisse prévisible des charges	68
1.4	Calcul de l'augmentation potentielle de loyer	69
1.5	Évaluation de la rentabilité économique du projet	70
2.	Discussion	80
3.	Application de l'outil à un projet : avenue Dumas 23	81
4.	Recommandations	87
	Conclusion	90
	Références.....	92
	Annexes	96
	Annexe I.....	98
	Programme de subventions, canton de Genève	98
	Annexe II.....	104
	Le programme Minergie.....	104
	Annexe III	110
	Obligations légales en termes de transmission thermique U	110
	Annexe IV	113
	Bilan thermique d'un bâtiment	113
	Annexe V	115
	Définitions.....	115
	Annexe VI	119
	Valeurs utilisées dans l'outil.....	119
	Annexe VII.....	124
	Mode d'emploi et maintenance de l'outil.....	124

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : REPRÉSENTATION DE L'AUGMENTATION ADMISSIBLE DES LOYERS DANS LE CANTON DE GENÈVE.	22
FIGURE 2 : DESCRIPTIF DES SUBVENTIONS DU PROGRAMME BÂTIMENTS PROPOSÉES PAR LE CANTON DE GENÈVE	25
FIGURE 3 : COMPARAISON DES IDC AVANT RÉNOVATION, PLANIFIÉ ET EFFECTIF APRÈS RÉNOVATION	33
FIGURE 4 : COMPARAISON DES MONTANTS INVESTIS ET DE LA VALEUR ACTUELLE NETTE, PLANIFIÉE ET EFFECTIVE, APRÈS RÉNOVATION.....	34
FIGURE 5 : COMPARAISON DES INVESTISSEMENTS PLANIFIÉS ET EFFECTIFS	35
FIGURE 6 : COMPARAISON DES RENTABILITÉS PLANIFIÉES ET EFFECTIVES DES RÉNOVATIONS.....	35
FIGURE 7 : COMPARAISON DES VALEURS ACTUELLES NETTES PLANIFIÉES ET EFFECTIVES	36
FIGURE 8 : COMPARAISON DES ÉVALUATIONS ÉCONOMIQUES, PLANIFIÉES ET EFFECTIVES, POUR LE LOCATAIRE	37
FIGURE 9 : ECONOMIES D'ÉMISSIONS DE CO2 DUES AUX TRAVAUX DE RÉNOVATION, RAPPORTÉES À LA SURFACE DE RÉFÉRENCE ÉNERGÉTIQUE.....	38
FIGURE 10 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 8	39
FIGURE 11 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 15....	40
FIGURE 12 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 21	41
FIGURE 13 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 19	43
FIGURE 14 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 20	44
FIGURE 15 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 23	45
FIGURE 16 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 24	46
FIGURE 17 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 7	47
FIGURE 18 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 6	48
FIGURE 19 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 12	49
FIGURE 20 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 2	50
FIGURE 21 : RÉPARTITION DES COÛTS (SELON DONNÉES TIRÉES DU DOSSIER SIG) – BÂTIMENT 13	51
FIGURE 22 : COMPARAISON DES COÛTS DES TRAVAUX ET DES ÉCONOMIES RÉALISÉES GRÂCE AUX TRAVAUX.....	53
FIGURE 23 : COMPARAISON DES ÉCONOMIES PLANIFIÉES ET DU POURCENTAGE EFFECTIVEMENT RÉALISÉ.....	54
FIGURE 24 : COÛT DU KWh ÉCONOMISÉ SELON LE COÛT DES TRAVAUX.....	56
FIGURE 25 : COMPARAISON DU COÛT DU KWh ÉCONOMISÉ, PLANIFIÉ ET EFFECTIF, POUR LE PROPRIÉTAIRE	57
FIGURE 26 : DESCRIPTION DES CARACTÉRISTIQUES DU SCÉNARIO 1	61
FIGURE 27 : DESCRIPTION DES CARACTÉRISTIQUES DU SCÉNARIO 2.....	61
FIGURE 29: DESCRIPTION DES CARACTÉRISTIQUES DU SCÉNARIO 3.....	62
FIGURE 30: AVENUE DUMAS 23, VUE EXTÉRIEURE DU BÂTIMENT, HTTPS://ARCHITECTES.CH/FR/ARCHITECTES/CAROUGE/HILTPOLD-PIERRE-H/AVENUE-DUMAS-23	81
FIGURE 31 : DÉCOMPOSITION DE L'ÉCART DE PERFORMANCE DANS LA RÉNOVATION EN (1) POTENTIEL D'OPTIMISATION ET (2) DIFFÉRENCE ENTRE LES CONDITIONS D'UTILISATION STANDARD ET OPTIMALES.....	88

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : VALEURS LIMITES DES BESOINS DE CHALEUR ANNUELS POUR LE CHAUFFAGE ET LA PUISSANCE DE CHAUFFAGE SPÉCIFIQUE (ÉNERGIE UTILE), MoPEC, ÉD. 2014	20
TABLEAU 2 : VALEURS LIMITES, POUR LES BÂTIMENTS À CONSTRUIRE, DES BESOINS D'ÉNERGIE ANNUELS PONDÉRÉS POUR LE CHAUFFAGE, LA PRÉPARATION D'EAU CHAUDE SANITAIRE, LA VENTILATION ET LE RAFRAÎCHISSEMENT (ÉNERGIE FINALE), MoPEC, ÉD. 2014	21
TABLEAU 3 : RÉCAPITULATIF DES MESURES DU MODÉHA 2015	24
TABLEAU 4 : CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES CAS ÉTUDIÉS	32
TABLEAU 5 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 8	39
TABLEAU 6 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 15	40
TABLEAU 7 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 21	41
TABLEAU 8 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 22	42
TABLEAU 9 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 19	43
TABLEAU 10 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 20	44
TABLEAU 11 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 23	45
TABLEAU 12 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 24	46
TABLEAU 13 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 7	47
TABLEAU 14 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 6	48
TABLEAU 15 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 12	49
TABLEAU 16 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 2	50
TABLEAU 17 : DESCRIPTION DE LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT 13	51
TABLEAU 18 : CHIFFRAGE DES FENÊTRES	77
TABLEAU 19 : PRIX DES FAÇADES PAR TYPOLOGIE	77
TABLEAU 20 : CHIFFRAGE DES FAÇADES	77
TABLEAU 21 : CHIFFRAGE DES STORES	78
TABLEAU 22 : PRIX DES TOITURES PAR TYPOLOGIE	78
TABLEAU 23 : CHIFFRAGE DES TOITURES	78
TABLEAU 24 : DESCRIPTION DE L'ÉTAT INITIAL DU BÂTIMENT DE L'AVENUE DUMAS	81
TABLEAU 26 : DESCRIPTION DU SCÉNARIO 1 APPLIQUÉ AU 23 AVENUE DUMAS	83
TABLEAU 25 : DESCRIPTION DU SCÉNARIO 2 APPLIQUÉ AU 23 AVENUE DUMAS	83
TABLEAU 27 : DESCRIPTION DU SCÉNARIO 3 APPLIQUÉ AU 23 AVENUE DUMAS	83
TABLEAU 28 : RÉSULTATS OBTENUS AUX TROIS SCÉNARIOS APPLIQUÉS AU 23 AVENUE DUMAS	84

INTRODUCTION

Le secteur du bâtiment représente à lui seul 45% de la consommation en énergie finale en Suisse. Il s'agit donc d'un secteur primordial sur lequel agir en vue d'une meilleure maîtrise de la consommation d'énergie globale et des émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, de nombreuses mesures ont été prises, notamment le durcissement des exigences légales en termes de performances énergétiques pour les bâtiments neufs et rénovés, l'apparition de labels (Minergie-Eco, Minergie-P...) et des incitations à la rénovation énergétique sous forme de subventions.

Cependant, les retours d'expérience des bâtiments ayant subi une rénovation montrent qu'il existe souvent une différence significative en termes de performance énergétique entre les résultats escomptés et certifiés lors de la planification, et ceux relevés en phase d'exploitation. Ces résultats risquent d'avoir un effet néfaste sur la dynamique de rénovation qui se met en place (et qui reste pourtant toujours trop faible), car ils tendent à montrer que la rentabilité de tels travaux est finalement bien moindre que prévue, voire nulle.

L'objectif de cette étude est donc, dans un premier temps, d'établir la synthèse de l'optimum technico-économique lié au bilan énergétique de la rénovation, en s'appuyant sur plusieurs cas de bâtiments ayant subi des travaux de rénovation.

La deuxième partie de cette étude est consacrée à la mise en place d'un outil qui permettrait, en phase d'avant-projet, d'évaluer différents scénarios de rénovation. L'objectif de cet outil est de réussir à comparer des scénarios de rénovation énergétique des bâtiments selon le critère de la rentabilité économique qu'ils présentent.

Ce travail est réalisé sur la base de projets de rénovation, entrepris par l'entreprise Losinger-Marazzi S.A, et de données concernant des bâtiments rénovés dans le canton de Genève, fournies par les Services Industriels de Genève (SIG).

Le cadre géographique de cette étude est limité au canton de Genève : les données récoltées concernent toutes des bâtiments situés dans ce canton. De plus, les différences de législation d'un canton à un autre rendaient délicat de développer un outil adaptable à tous les cantons dans le cadre temporel imposé par ce projet de master, mais cela pourrait tout à fait représenter une évolution future de cet outil.

PREMIÈRE PARTIE :

CONSIDÉRATIONS SUR LE CONTEXTE ACTUEL

1. ÉTAT DE L'ART

Le secteur du bâtiment engendre à lui seul, en Europe, près de 40% de la consommation totale d'énergie, et presque autant des émissions de gaz à effet de serre¹. Ainsi, ce secteur représente un enjeu majeur dans la réduction de la consommation d'énergie et d'émissions de CO₂. Et si les nouvelles constructions ont souvent des performances énergétiques élevées, le parc immobilier existant peut présenter de très mauvaises performances et nécessite donc des rénovations. Ainsi, l'Union Européenne a fixé différents objectifs liés à l'énergie, comme celui d'améliorer de 20% l'efficacité énergétique en 2020² et mis en place, au travers de directives, des exigences de rénovation pour les pays européens, et notamment dans les articles 4 et 5 de la *Directive relative à l'Efficacité Énergétique* [Bogdan Atanasiu & Ilektra Kouloumpi] :

Article 4 : “Les États membres mettent en place une stratégie à long terme pour la mobilisation des investissements dans la rénovation du parc national des bâtiments résidentiels et commerciaux, publics et privés”.

Article 5 : “Obligation d'un quota de rénovation de 3% de tous les bâtiments publics possédés et occupés par les administrations centrales”.

Chaque pays membre est donc libre de la stratégie à adopter et de fixer ses propres objectifs de rénovation. En France par exemple, la politique énergétique vise à diviser par quatre, à l'horizon 2050, les émissions de gaz à effet de serre, et par deux la consommation en énergie. Cela se traduit notamment par l'objectif de réduire de 38% (par rapport aux chiffres de 1995) la consommation d'énergie liée au parc immobilier avant 2020³. En Suisse, une exigence sur la rénovation est que les bâtiments rénovés sont tenus de ne pas utiliser plus de 150% de la demande en chauffage d'un bâtiment neuf équivalent⁴. Cependant, le rythme des rénovations est pour l'instant insuffisant. En moyenne en Europe, le taux de rénovation annuel est actuellement d'environ 1% de la surface totale de plancher, et devrait passer à 3% à partir de 2020 pour tenir ces objectifs [Bogdan Atanasiu & Ilektra Kouloumpi].

¹ Bogdan Atanasiu & Ilektra Kouloumpi, BPIE, novembre 2013, *Stimuler la rénovation des bâtiments : un aperçu des bonnes pratiques*, BPIE ;

² eREN - rénovation énergétique des bâtiments, *Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment - Rénovation énergétique* ;

³ Energies et avenir, mars 2015, *la rénovation énergétique des bâtiments d'enseignement - performance et potentiel des systèmes à eau chaude* ;

⁴ SIA 380/1 : 2016 ;

Alain Quinet et Renaud Crassous se sont penchés, dans leur étude “*Pour un modèle économique de rénovation énergétique dans le bâtiment*”, sur la question de la politique économique à adopter en vue de favoriser la rénovation. Il s’agirait, selon eux, de promouvoir un mix entre réglementation et subventions. “La réglementation est un outil adapté sur le principe à l’immobilier neuf où il est possible de contraindre directement les promoteurs à atteindre un niveau d’efficacité énergétique fixé, à coût maîtrisé. [...] La réglementation pourrait aussi, sous une forme adaptée, être un levier intéressant de la rénovation des bâtiments tertiaires voire des grandes copropriétés” [eREN]. Ils préconisent donc un recours à l’obligation de rénover pour les grandes copropriétés, dont les moyens d’action sont importants, et qui pourraient mettre en place des travaux de rénovation sans impliquer de difficulté financière pour leurs propriétaires.

Pour les logements individuels à l’inverse, une obligation à la rénovation représenterait un impact financier très important qui pourrait mettre en difficulté les propriétaires dont les moyens sont moindres. Dans ce cas-là, ils recommandent plutôt la mise en place d’incitations à la rénovation. Ces incitations passent par la création de subventions pour la rénovation, qui selon eux devraient être proportionnelles aux économies d’énergie réalisées. C’est le cas en Suisse : les subventions sont des mesures d’incitations à la rénovation pour les particuliers, et leur montant se voit augmenté (mais pas de manière proportionnelle) selon l’importance des économies. Ils préconisent également de faciliter l’accès au crédit bancaire, de manière à ce que “aucun projet rentable ne soit écarté pour une raison liée à des difficultés de financement” [eREN].

Cette approche financière de la rénovation amène à la question de la plus-value monétaire qui est faite sur un bien par des travaux de rénovation. C’est ce qui définit la *valeur verte* : c’est “l’augmentation de la valeur engendrée par la meilleure performance énergétique et environnementale d’un bien immobilier par rapport à un autre, toutes leurs caractéristiques étant égales par ailleurs”⁵. Cette *valeur verte* est l’objet de l’étude “*La valeur verte des logements d’après les bases Notariales BIEN et PERVAL*”, réalisée par Dinamic. D’après une étude de la banque cantonale zurichoise (“*Impact du label Minergie sur la valeur vénale et la valeur locative en Suisse*”. Salvi and al), une maison individuelle dotée du label Minergie voit sa valeur vénale augmenter de +7% par rapport à une autre, ayant des caractéristiques similaires mais non labellisée. Les logements collectifs quant à eux, voient leur valeur vénale augmenter de seulement +3.5%. Cet impact moindre peut être lié à la taille du bien. Par contre, les

⁵ Dinamic, *La valeur verte des logements d’après les bases Notariales BIEN et PERVAL* ;

logements locatifs dotés du label Minergie voient leur valeur locative augmenter de +6% : les charges liées à la consommation d'énergie représentent une part importante du loyer d'un appartement, et voir ces charges restreintes grâce à de bonnes performances énergétiques peut être très attractif. Il faut cependant mitiger ces résultats : le gain financier qui est fait sur un bien à la suite d'une rénovation dépend de l'état du marché. Si la demande est faible, le gain est moindre, et la stratégie de rénovation doit être adaptée au marché et à l'état du bâtiment. Si l'état du bâtiment est mauvais, mais que son potentiel de commercialisation est important, le propriétaire a alors intérêt à mener une rénovation lourde sur son bien. A l'inverse, si le potentiel de commercialisation est faible, il ne peut être recommandé d'investir de trop grosses sommes dans une rénovation complète, mais de favoriser une rénovation partielle du bâtiment⁶. Ensuite, il faut être attentif au fait qu'un bien voit sa valeur diminuer d'année en année par vieillissement naturel. Il est estimé que sa valeur diminue de 1-2% des coûts de construction initiaux par année. Ainsi, des travaux de rénovation, effectués à intervalles réguliers, permettent de maintenir la valeur du bâtiment sans engendrer trop de frais [EnFK & SuisseEnergie].

Finalement, la rentabilité des travaux entrepris dépend de l'état initial du bâtiment. L'étude d'Energies et Avenir sur "*La rénovation énergétique des bâtiments d'enseignement*" montre que "faire passer un bâtiment d'une classe de performance D ou E à une consommation de l'ordre de 180 kWh/m² représente le meilleur compromis entre gains d'efficacité énergétique (35%) et coûts d'investissement (30€HT/m²). Aller au-delà exige de mobiliser 6 fois plus d'investissement (225€HT/m²) pour un gain énergétique supplémentaire réduit (30%)" [Energies et avenir]. Ces chiffres sont spécifiques à l'étude réalisée mais prouvent bien qu'il existe un seuil à partir duquel les rénovations deviennent trop chères pour le bénéfice escompté.

De plus, les retours d'expérience montrent que les gains réels d'énergie après rénovation sont bien inférieurs à ceux escomptés. L'étude "*Raisons et remèdes de la surconsommation de bâtiments locatifs après rénovation*" traite de ce sujet et affirme que "sur les 9 opérations de haut standard énergétique de Genève, les économies d'énergie mobilisées varient entre 30 et 65% de l'économie théorique"⁷. Ces différences de résultats sont liées au fait que les études de diminution de consommation se font selon des valeurs standards de consommation, qui diffèrent des consommations effectives [EnFK & SuisseEnergie]. Ces différences sont

⁶ EnFK & SuisseEnergie, Rénovation des bâtiments - Comment réduire de moitié la consommation énergétique dans une maison individuelle grâce à des mesures ciblées ;

⁷ Flourentzos Flourentzou, Samuel Pantet, Raisons et remèdes de la surconsommation de bâtiments locatifs après rénovation ;

a. Quinet & R. Crassous, Pour un modèle économique de rénovation énergétique dans le bâtiment ;

principalement dues au comportement de l'utilisateur, qui a tendance à surchauffer (température des logements 21-25°C) et à trop aérer⁸. Ces retours d'expérience risqueraient de créer un "effet boomerang" [Flourentzos Flourentzou] et d'avoir un effet néfaste contre la dynamique de rénovation qui s'instaure. Il est nécessaire de sensibiliser les occupants à de bonnes pratiques concernant leur habitation pour améliorer les gains réels.

Finalement, un dernier rempart au développement de la rénovation est le coût des rénovation qui est trop élevé, comparativement au prix de l'énergie qui est trop bas pour rendre une rénovation attractive sur seule base économique⁹. Pour améliorer cela, il faudrait industrialiser les processus de rénovation et développer les technologies concernées pour diminuer les coûts des travaux [eREN], développer le secteur de la rénovation de manière à avoir une offre suffisante pour répondre à la demande grandissante de rénovation : si l'offre n'est pas suffisante, cela freinera la dynamique de rénovation et aura tendance à faire augmenter les prix des services [eREN]. Il faut enfin améliorer les diagnostics qui sont faits pour mieux cibler les travaux les plus aptes à réaliser des économies d'énergie au moindre coût.

⁸ U. Lehmann & J. Khoury, 2017, *Performance énergétique des bâtiments de logement pour étudiants : études de cas dans le canton de Genève* ;

⁹ www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/energie/strategie-energetique-2050.html ;

2. STRATEGIE ENERGETIQUE 2050

La vision énergétique de la confédération suisse est traduite dans la *Stratégie énergétique 2050*¹⁰, votée en mai 2017. Cette loi propose un contexte global pour l'énergie en Suisse. Elle vise les axes majeurs suivants :

- L'efficacité énergétique ;
- Les énergies renouvelables indigènes ;
- La sortie du nucléaire (ce point marque la principale nouveauté par rapport à la *Stratégie énergétique 2007* et fait suite à la catastrophe nucléaire de Fukushima en 2011) ;
- Des mesures dans le domaine des réseaux électriques ;

Les objectifs de la *Stratégie énergétique 2050* sont de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer l'efficacité énergétique, et de promouvoir la production d'énergie renouvelable indigène de manière à diminuer la dépendance du pays aux importations d'énergies fossiles. Ces aspirations visent non seulement à lutter contre le réchauffement climatique, mais aussi à renforcer la sécurité d'approvisionnement du territoire helvétique.

Ces ambitions globales sont traduites par des chiffres clés à atteindre sur le long terme (horizon 2050) (ici restreints à ceux concernant la consommation d'énergie, par intérêt pour l'étude) :

- « La consommation moyenne finale d'énergie par personne et par an doit diminuer de 54 % d'ici 2050, par rapport à l'an 2000 (année de référence). Cela correspond à une consommation finale d'énergie estimée à près de 125 TWh (451 PJ) en 2050. »
- « La consommation d'électricité moyenne par personne et par an doit diminuer de 18 % d'ici 2050, par rapport à l'an 2000 (année de référence). Cela correspond à une consommation finale d'électricité estimée à près de 53 TWh (191 PJ) et à une consommation du pays de 57,6 TWh (207 PJ) en 2050. »

Ces chiffres prétendent à faire baisser les émissions de gaz à effet de serre à 1-1.5 tonne par habitant et par an d'ici à 2050. Des paliers intermédiaires sont également définis pour atteindre les objectifs de 2050 :

À l'horizon 2035 :

¹⁰ www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/energie/strategie-energetique-2050.html ;

- « La consommation moyenne finale d'énergie par personne et par an doit diminuer de 43 % par rapport à l'année de base 2000, ce qui correspond à une consommation d'énergie finale d'environ 152 TWh (549 PJ) en 2035. »
- « La consommation moyenne d'électricité par personne et par année doit baisser de 13 % par rapport à l'année de base 2000. Cela correspond à une consommation d'électricité estimée à 55 TWh (198 PJ) et à une consommation du pays de 59,9 TWh (216 PJ) en 2035. »

À l'horizon 2020 :

- « La consommation moyenne finale d'énergie par personne et par an doit diminuer de 16 % d'ici 2020, par rapport à l'an 2000 (année de référence). Cela correspond à une consommation finale d'énergie estimée à près de 213 TWh (767 PJ) en 2020. »
- « La consommation d'électricité moyenne par personne et par an doit diminuer de 3 % d'ici 2020, par rapport à l'an 2000 (année de référence). Cela correspond à une consommation d'électricité estimée à près de 59 TWh (211 PJ) et à une consommation du pays de 64 TWh (230 PJ) en 2020. »

Cela contribue à remplir l'objectif de la loi révisée sur le CO₂ qui préconise une diminution de 20% des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020, par rapport aux émissions de 1990.

3. OBLIGATIONS LEGALES

3.1 Harmonisation des cantons

L'entité responsable de la législation concernant la consommation d'énergie dans les bâtiments est le canton, et non la confédération. Il existe un texte rédigé par la conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK) qui doit servir de base pour la mise en place des ordonnances cantonales en la matière : le *Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC, éd. 2014)*. Il est composé de deux parties : le « module de base » dont le respect est obligatoire pour tous les cantons, et les « modules », qui sont facultatifs, et que les cantons peuvent donc choisir d'intégrer ou non dans leurs textes. Le but de ce document est d'harmoniser les législations entre les cantons, notamment pour simplifier le travail des propriétaires et professionnels présents dans plusieurs endroits en Suisse, tout en respectant les particularités de chaque canton.

Le module de base définit entre autres les exigences concernant l'isolation thermique et les installations de chaleurs des bâtiments. Les valeurs à respecter sont en fait les valeurs limites définies par la *SIA 380/1 (éd. 2016)*. Les bâtiments rénovés doivent respecter 1.5x les exigences fixées pour les bâtiments à construire.

Tableau 1 : Valeurs limites des besoins de chaleur annuels pour le chauffage et la puissance de chauffage spécifique (énergie utile), MoPEC, éd. 2014

Catégorie d'ouvrages		Valeur limite pour bâtiments à construire			Valeur limite pour les transformations ou les changements d'affectation $Q_{h,li_transformations} / \text{chang. d'affectation}$ kWh/m ² a
		$Q_{h,li0}$ kWh/m ² a	$\Delta Q_{h,li}$ kWh/m ² a	$P_{h,li}$ W/m ²	
I	habitat collectif	14	16	20	1, 5 * $Q_{h,li_bâtiments\ à\ construire}$
II	habitat individuel	16	16	25	
III	administration	16	21	25	
IV	écoles	18	18	20	
V	commerce	13	16	–	
VI	restauration	24	19	–	
VII	lieux de rassemblement	24	19	–	
VIII	hôpitaux	20	20	–	
IX	industrie	15	18	–	
X	dépôts	15	18	–	
XI	installations sportives	19	18	–	
XII	piscines couvertes	19	25	–	

Tableau 2 : Valeurs limites, pour les bâtiments à construire, des besoins d'énergie annuels pondérés pour le chauffage, la préparation d'eau chaude sanitaire, la ventilation et le rafraîchissement (énergie finale), MoPEC, éd. 2014

Catégorie d'ouvrages		Valeur limite pour les bâtiments à construire E_{hwik} en [kWh/m ² a]
I	habitat collectif	35
II	habitat individuel	35
III	administration	40
IV	écoles	35
V	commerce	40
VI	restauration	45
VII	lieux de rassemblement	40
VIII	hôpitaux	70
IX	industrie	20
X	dépôts	20
XI	installations sportives	25
XII	piscines couvertes	Pas d'exigence pour E_{hwik}

Il instaure également d'autres principes de base, comme la récupération des rejets de chaleur et l'exploitation des énergies renouvelables disponibles sur site.

3.2 Obligations du canton de Genève

Dans le canton de Genève, ces prescriptions sont reprises dans le *Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn)*, qui applique les principes mis en place dans la *Loi sur l'énergie (LEn)*. Les objectifs de ces directives sont :

- les économies d'énergie ;
- la diversification des agents énergétiques primaires ;
- la recherche et le développement des ressources d'énergies indigènes ;
- l'amélioration des cycles de conversion, en veillant à la protection de l'environnement.

Le secteur du bâtiment représentant en Suisse près de la moitié de la consommation en énergie finale, il s'agit d'un secteur clé sur lequel agir pour atteindre ces buts. Les prescriptions relatives y sont donc nombreuses. En matière d'isolation thermique et de protection thermique des bâtiments, le respect des normes SIA 180, SIA 380/1 et SIA 382/1 est exigé.

Enfin, la *Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation (LDTR)* vise à préserver aussi bien les locataires que les propriétaires. Elle définit l'augmentation maximale de loyer envisageable lors de travaux de rénovation qui améliorent les performances énergétiques du bâtiment : l'augmentation du loyer correspond, au maximum, au montant de la baisse prévisible des charges due à l'amélioration énergétique, auquel on peut ajouter au maximum 10 francs par pièce et par mois. Dans le cas où le loyer initial était inférieur au seuil LDTR (soit 3'405 francs par pièce et par an), on peut encore y rajouter la différence jusqu'au seuil LDTR.

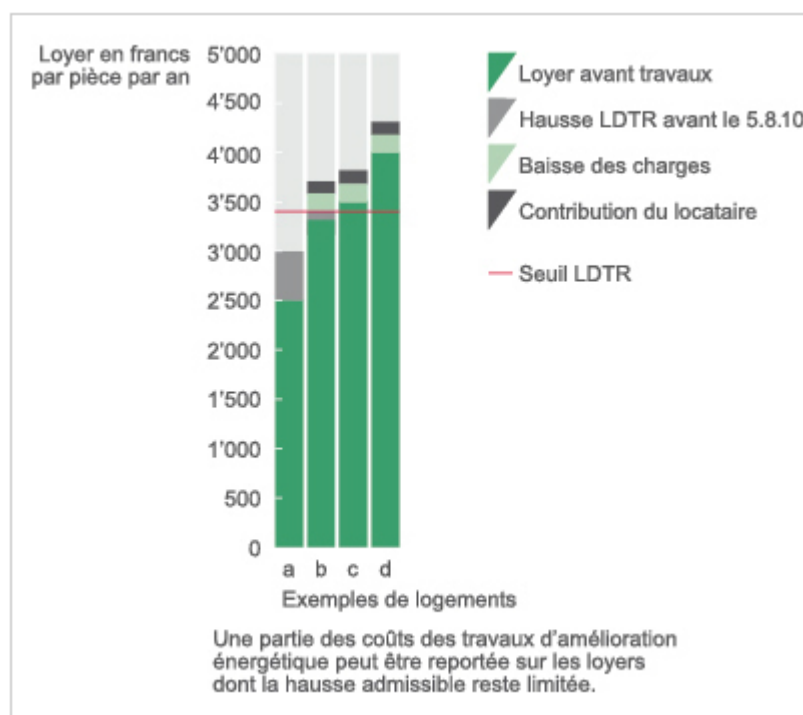


Figure 1 : Représentation de l'augmentation admissible des loyers dans le canton de Genève.

4. LES PROGRAMMES DE SUBVENTIONS

Les objectifs de la *Stratégie Énergétique 2050* se traduisent, dans le secteur du bâtiment, par deux mesures : l'augmentation de la taxe sur le CO₂ et le renforcement du programme d'assainissement des bâtiments. La taxe sur le CO₂ est fixée à 96 francs par tonne de CO₂ depuis le 1^{er} janvier 2018 (et pourrait à terme atteindre 120 francs par tonne), ce qui doit permettre de dégager 350 millions de francs par an, et cette taxe est à l'origine même du *Programme Bâtiments*, dont les bases et objectifs sont définis dans le *Modèle d'Encouragement Harmonisé des Cantons (ModEnHa 2015)*. Le *ModEnHa 2015* aborde trois thématiques - la rénovation des bâtiments, les nouvelles constructions, et les projets de réseaux de chauffage - et est un texte fédéral qui sert de base aux cantons pour l'établissement de leur programme d'encouragement à la rénovation. L'objectif des mesures préconisées est de promouvoir une utilisation plus économe de l'énergie et de favoriser l'exploitation des énergies renouvelables¹¹.

Le *Programme Bâtiments* est financé aux trois quarts par la taxe sur le CO₂, et à un quart par les cantons, pour un budget annuel total de 525 millions de francs. Les ambitions énergétiques de la confédération se traduisent donc à l'échelle du canton de Genève par l'application du *Programme Bâtiment*¹², pour un budget annuel de 32 millions de francs. Les subventions sont attribuées aux travaux concernant :

- l'isolation thermique de l'enveloppe ;
- le remplacement de chauffages utilisant des énergies fossiles par des énergies renouvelables ou par le raccordement à un réseau de chauffage ;
- des rénovations importantes permettant l'obtention du label Minergie.

Ce programme a pour ambition de favoriser les économies d'énergie et l'utilisation des énergies renouvelables dans le secteur immobilier, ainsi que d'accélérer le rythme des rénovations.

¹¹ Tableau 3

¹² Annexe I ;

Tableau 3 : Récapitulatif des mesures du ModEnHa 2015

Tableau 1: Mesures du ModEnHa 2015 structurées par thèmes					
Chapitre	Section	Mesures	Programme d'encouragement de base? *	Désignation ModEnHa 2015	Désignation ModEnHa 2009 OFEN 2013a
Rénovation du bâtiment avec mesures ponctuelles (chap. 2)	Isolation thermique (2.1)	Isolation thermique de la façade, du toit, des murs et du sol contre terre	✓	M-01	U7
	Installation de chauffage à bois (2.2)	Chauffage à bûches / à pellets avec réservoir journalier	✓	M-02	H1
		Chauffage à bois automatique, puissance calorifique ≤ 70 kW	✓	M-03	H2
		Chauffage à bois automatique, puissance calorifique > 70 kW	✓	M-04	H3a, H3b
	Installation d'une pompe à chaleur (2.3)	Pompe à chaleur air/eau	✓	M-05	WP1
		Pompe à chaleur électrique (saumure/eau, eau/eau)	✓	M-06	WP1
	Raccordement à un réseau de chauffage (2.4)	Raccordement à un réseau de chauffage	✓	M-07	W1, W2, H4
	Installation de capteurs solaires (2.5)	Capteurs solaires	✓	M-08	S1, S2, S3
Rénovation du bâtiment en plusieurs grandes étapes (chap. 3)	Installation de la ventilation dans les habitations (2.6)	Ventilation dans les habitations avec récupération de chaleur	✗	M-09	U12
	Amélioration de la classe d'efficacité CECB Amélioration de la classe d'efficacité CECB (3.1)	La classe CECB doit être améliorée pour l'enveloppe du bâtiment et pour l'efficacité énergétique globale	✓	M-10	–
	Réduction des besoins de chaleur et des besoins en énergie pour le chauffage (3.2)	Réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage et de la demande en énergie finale	✓	M-11	–
Rénovation complète du bâtiment sans étape (chap. 4)	Rénovation complète avec certificat Minergie (4.1)	Rénovation complète avec certificat Minergie	✓	M-12	U1, U2, U15, U16, U18, U19, U20, U21
	Rénovation complète avec CECB (4.2)	Rénovation complète avec CECB	✓	M-13	U23, U24, U25, U26
	Bonus pour une rénovation complète (4.3)	Bonus pour l'efficacité de l'enveloppe du bâtiment	✗	M-14	–
		Bonus pour l'efficacité énergétique globale	✗	M-15	–
Nouvelles constructions (chap. 5)	Nouvelle construction/nouvelle construction de remplacement Minergie-P (5.1)	Nouvelle construction/nouvelle construction de remplacement Minergie-P	✗	M-16	U3, U4, U5, U17
	Nouvelle construction/nouvelle construction de remplacement avec CECB A/A (5.2)	Nouvelle construction/nouvelle construction de remplacement avec CECB A/A	✗	M-17	–
Projets de réseau de chauffage (chap. 6)	–	Nouvelle construction/extension du réseau de chaleur et/ou de l'installation de production de chaleur	✗	M-18	W1, W2, H3a, H3b, H4

EN 2018, RÉNOVEZ À MOINDRE COÛT GRÂCE AU PROGRAMME BÂTIMENTS



- 1 Assainissement de la toiture*: 70.-/m²
- 2 Assainissement des murs et sols contre extérieur et/ou enterrés jusqu'à 2 m*: 70.-/m²
- 3 Assainissement des murs et sols enterrés à plus de 2 m*: 40.-/m²
- 4 Assainissement global de l'enveloppe (toitures, murs et fenêtres)*: bonus de 20.-/m² sur les subventions à 70.-/m² pour la toiture et les murs.
- 5 Panneaux solaires thermiques (installation ou extension): 1200.- + 500.-/kW
- 6 Pompe à chaleur eau-eau avec forage géothermique:
 ≤50 kW: 3000.- + 800.-/kW
 >50 kW: 23'000.- + 400.-/kW
 ou pompe à chaleur air-eau:
 ≤50 kW: 3000.- + 400.-/kW
 >50 kW: 13'000.- + 200.-/kW
- 7 Raccordement à un réseau de chauffage d'un bâtiment existant
- 8 Récupération de chaleur sur la ventilation

* non cumulable avec les subventions pour l'amélioration de la classe CECB[®] ou une rénovation complète HPE/THPE ou Minergie[®]/Minergie[®]-P

Vous pouvez également profiter de subventions pour:

- des écoconseils
- l'amélioration de la classe CECB[®]
- l'obtention du certificat CECB[®] Plus
- une rénovation complète HPE/THPE ou Minergie[®]/Minergie[®]-P
- une nouvelle construction THPE ou Minergie[®]-P

Les aides financières sont disponibles jusqu'à concurrence des budgets disponibles.

Figure 2 : Descriptif des subventions du Programme Bâtiments proposées par le canton de Genève

DEUXIÈME PARTIE :

**ANALYSE DE L’OPTIMUM TECHNICO-
ÉCONOMIQUE D’UN PROJET DE RÉNOVATION**

1. METHODOLOGIE

L'objectif de cette première partie d'étude est d'analyser les résultats obtenus lors de différents projets de rénovation, et de les comparer avec les résultats qui étaient attendus, de manière à comprendre les critères qui définissent l'optimum technico-économique d'un projet de rénovation.

L'étude se base sur les retours d'expérience d'un certain nombre de bâtiments qui ont été soumis à des travaux d'amélioration énergétique dans le canton de Genève, et dont les données ont été mise à notre disposition par les SIG.

La méthodologie suivie pour l'analyse réalisée dans cette première partie est la suivante. Elle se décompose en deux sous-parties :

- Une analyse économique d'abord :
 - Du point de vue du propriétaire : il s'agit de s'assurer que l'investissement engendré par les travaux est rentabilisé¹³ par la hausse des loyers. Celle-ci est justifiée par l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment, et donc la diminution des charges sur la durée de vie supposée du bâtiment.
- Le critère économique utilisé est la valeur actuelle nette (VAN) : cet indicateur mesure la rentabilité d'un investissement, en faisant la somme des flux de trésorerie entrants et sortants (actualisés¹⁴ de manière à prendre en compte l'influence de l'éloignement dans le temps) sur une « durée de vie » T. L'investissement est rentable si la VAN est positive.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^T B_t \cdot (1 + a)^{-t}$$

I_0 [CHF] : investissement initial pour la rénovation

B_t [CHF/an] : Bénéfices / économies réalisées suite à la rénovation, à l'année t

¹³ La rentabilité est définie d'après la définition du *calcul de rentabilité élargi* donnée dans la SIA 480 ;
« Le calcul de rentabilité élargi tient compte des coûts externes, pour autant que ceux-ci soient quantifiables. Dans le domaine du bâtiment, c'est la consommation d'énergie nécessaire à l'exploitation qui constitue la principale source de coûts externes. » ;

¹⁴ Le taux d'actualisation est défini grâce au document *Indice suisse des prix de la construction - Évolution des prix de la construction Résultats détaillés* de l'office fédéral de la statistique, et vaut ainsi 1.0% ;

$$B_t = EL_{r,t} - EL_{nr,t}$$

$EL_{r,t}$ [CHF/an] : état locatif du bâtiment rénové à l'année t

$EL_{nr,t}$ [CHF/an] : état locatif du bâtiment non-rénové à l'année t

a [-] : taux d'actualisation

T [ans] : durée de vie technique considérée pour le bâtiment rénové

- Du point de vue du locataire : l'analyse vise à comparer l'augmentation annuelle du loyer face à la baisse annuelle des charges. Le critère est donc le suivant :

$$B_t = \Delta_{charges} - \Delta_{EL} \geq 0$$

B_t [CHF/an] : Bénéfices / économies réalisées suite à la rénovation, à l'année t

$$\Delta_{charges} = C_{nr,t} - C_{r,t}$$

$C_{nr,t}$ [CHF/an] : coûts de consommation d'énergie du bâtiment non-rénové à l'année t

$C_{r,t}$ [CHF/an] : coûts de consommation d'énergie du bâtiment rénové à l'année t

$$\Delta_{EL} = EL_{r,t} - EL_{nr,t}$$

$EL_{r,t}$ [CHF/an] : état locatif du bâtiment rénové à l'année t

$EL_{nr,t}$ [CHF/an] : état locatif du bâtiment non-rénové à l'année t

- Une analyse environnementale ensuite, qui cherche à s'assurer que l'opération de rénovation mène bien à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le critère d'évaluation est donc :

$$B_{ém.} = e_{nr} - \left(e_r + \frac{e_{grises}}{T} \right) > 0$$

$B_{ém.}$ [tCO₂,éq] : les économies d'émissions réalisées grâce aux travaux de rénovation

e_{nr} [tCO₂,éq] : les émissions moyennes annuelles de gaz à effet de serre avant rénovation

e_r [tCO₂,éq] : les émissions moyennes annuelles de gaz à effet de serre après rénovation

$e_{\text{grises}} [t_{\text{CO2,eq}}]$: les émissions grises liées aux travaux de rénovation

T [ans] : le nombre d'années définissant la période d'étude

Cette somme définit donc la quantité de gaz à effet de serre qui n'est pas émise, annuellement, grâce aux travaux effectués.

Ces évaluations sont faites pour chacun des cas étudiés, et les résultats sont repris et analysés pour comprendre les facteurs qui ont plus ou moins œuvrés pour la réussite des projets.

2. BASE D'ETUDE ET HYPOTHESES

2.1 Bâtiments étudiés

Les données concernant treize bâtiments rénovés ont été mises à notre disposition par les Service Industriels de Genève (SIG). Ces données avaient été récoltées dans le cadre d'une étude menée conjointement par les bureaux Energys, Bed'In et Conser Invest et commandée par un groupe de pilotage composé de Implenla Suisse SA, les SIG, SPG Asset Development SA, Signaterre, l'Office Cantonal de l'Energie (OCEN) et le Groupe Energie de l'Université de Genève. Les bâtiments sont anonymes, condition nécessaire pour l'obtention de données auprès des régies de ces bâtiments. Ces cas servent de base à l'étude.

2.2 Hypothèses

- Les changements de SRE relatifs à une surélévation ou une augmentation de la surface habitable au cours des travaux ne sont pas pris en compte. De la même façon, les coûts considérés se limitent à ceux qui concernent les rénovations des bâtiments, et les valeurs de performance après travaux se limitent aux parties rénovées.
- On considère que l'état locatif effectif est égal à l'état locatif planifié, car aucune donnée concernant les états locatifs effectifs après rénovation ne sont disponibles.
- Le taux d'actualisation est défini selon les valeurs fournies dans *l'Indice suisse des prix de la construction - Évolution des prix de la construction Résultats détaillés*, de l'office fédéral de la statistique¹⁵ et est fixé à 1.0%.

¹⁵ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/prix/prix-construction/indice-prix-construction.assetdetail.5486550.html> ;

Tableau 4 : Caractéristiques principales des cas étudiés

Données générales	Unité	Bâtiment 8	Bâtiment 15	Bâtiment 21	Bâtiment 22	Bâtiment 19	Bâtiment 20	Bâtiment 23	Bâtiment 24	Bâtiment 7	Bâtiment 6	Bâtiment 12	Bâtiment 2	Bâtiment 13
<u>Canton</u>														
<u>Affectations</u>														
Affectation principale	[-]	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif	Hab collectif
Affectation n°2	[-]	Commerce	-	-	-	-	Commerce	-	Commerce	-	-	-	Commerce	Commerce
Affectation n°3	[-]	Centre médical	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>SRE</u>	[m2]	2021	6822	7414	11798	1248	913	2523	913	732	2046	1104	4612	4811
<u>Typologie</u>														
Epoque de construction	[-]	1971-80	1971-80	1920-50	1920-50	1971-80	1971-80	1961-70	19ème	Fin 19ème s	1971-80	1971-80	1971-80	1971-80
Année de rénovation	[-]	2012	2013	2013	2013	2012	2011	2011	2011	2013	2013	2014	2012	2013
<u>Propriété</u>														
Type de propriétaire	[-]	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Privé	Public	Public	Public
<u>Typologie des travaux</u>														
Type de travaux	[-]	R. globale	R. quasi globale	R. globale	R. globale	R. façade	R. façade	R. façade	R. quasi globale	R. quasi globale	R. globale	R. globale	R. globale	R. quasi globale
Label minergie	[-]	NON	NON	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Toiture	[-]	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Façades	[-]	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	NON
Fenêtres	[-]	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Vitrines	[-]	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI
Plancher/Dalle	[-]	NON	NON	OUI	OUI	NON	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON	OUI	OUI
Solaire	[-]	OUI	NON	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Chaudière et distribution	[-]	OUI	NON	OUI	OUI	NON	NON	OUI	NON	OUI	NON	NON	OUI	OUI
Ventilation	[-]	NON	NON	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
<u>Vecteurs énergétiques</u>														
Vecteur énergétique avant travaux	[-]	Mazout	Mazout	Mazout	Mazout	Mazout	Mazout	CADIOM	Mazout	Mazout	Mazout	Mazout	Mazout	Mazout + Gaz
Vecteur énergétique prévu après rénovation	[-]	Gaz	Mazout	Gaz	Gaz	Mazout	Mazout	CADIOM	Mazout	Gaz	Mazout	Mazout	Gaz	CAD + Gaz

3. RESULTATS GENERAUX DES EVALUATIONS

3.1 Analyse des performances

L'indice de dépense de chaleur (IDC¹⁶) est défini comme étant la quantité annuelle d'énergie nécessaire au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire d'un bâtiment rapportée à la surface chauffée. L'analyse des IDC des différents bâtiments rénovés permet une bonne comparaison de leurs performances énergétiques.

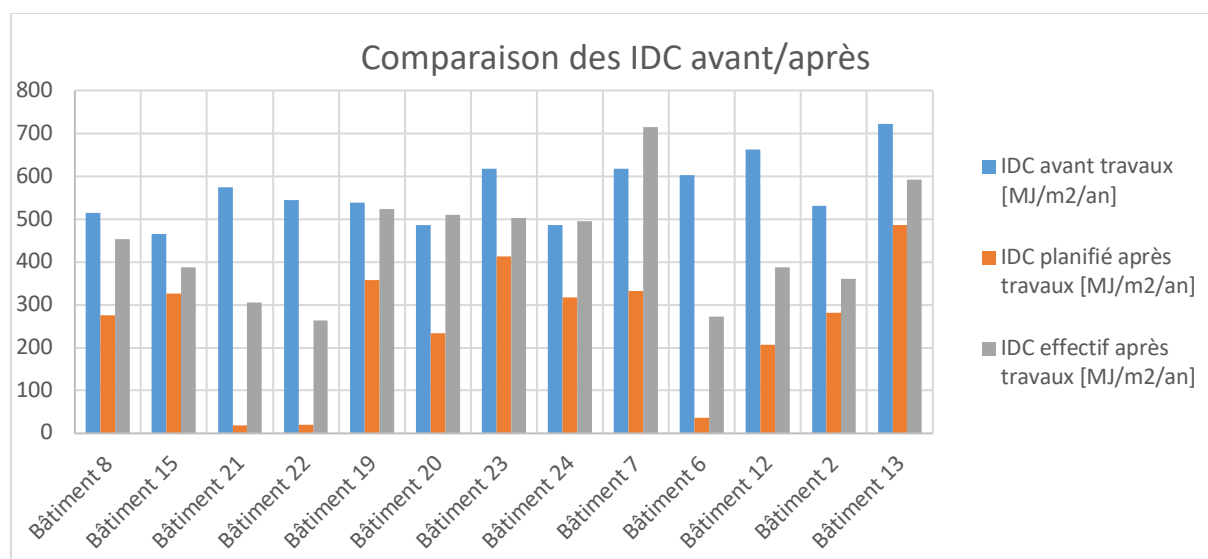


Figure 3 : Comparaison des IDC avant rénovation, planifié et effectif après rénovation

Le graphique ci-dessus compare les IDC avant travaux, à ceux planifiés et ceux obtenus après travaux. Dans tous les cas, L'IDC effectivement obtenu après les travaux est supérieur à celui planifié : les objectifs de la rénovation en termes de diminution des besoins de chaleur ne sont donc pas remplis. Dans les cas des bâtiments 20, 24 et 7, les IDC après travaux sont mêmes supérieurs à ceux avant travaux : la consommation unitaire en chaleur du bâtiment augmente donc après les travaux.

Les différentes évaluations telles qu'elles ont été présentées sont appliquées à chacun des cas de bâtiments rénovés.

3.2 Évaluation économique

3.2.1 Évaluation pour le propriétaire

Les résultats des évaluations économiques pour le propriétaire, telles qu'elles ont été définies plus tôt dans cette étude, sont repris dans le graphique de la figure 4. Ces résultats montrent

¹⁶ Annexe V ;

qu'aucun des cas ne permet la rentabilité des fonds engagés dans les travaux par les propriétaires, et ce aussi bien en phase de planification qu'en réalité.

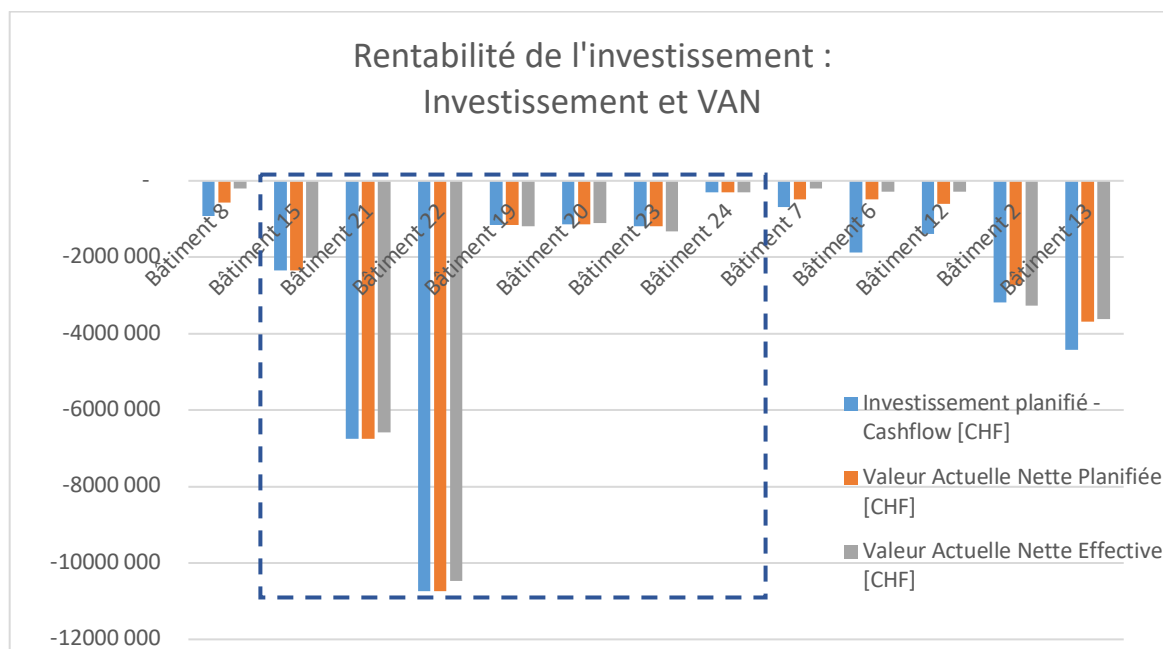


Figure 4 : Comparaison des montants investis et de la valeur actuelle nette, planifiée et effective, après rénovation

Le graphique de la figure 4 permet de comparer l'investissement et la valeur actuelle nette du projet, planifiée et effective. L'investissement est considéré comme un flux de trésorerie pour qu'il soit négatif et qu'il soit plus facilement comparable, sur ce graphique, aux VAN. Ce graphique met en valeur la part du montant dépensé pour les travaux qui est rentabilisé sur la durée de vie du bâtiment pour le propriétaire. Cette rentabilisation se fait grâce à l'augmentation des loyers. Les bâtiments 15 à 24 ont une VAN planifiée égale à l'investissement : les travaux ne sont pas du tout rentabilisés car l'augmentation des états locatifs après travaux est nulle. Les autres cas montrent une rentabilisation très partielle : les travaux sont en partie « remboursés » par l'augmentation du loyer mais jamais complètement rentabilisés. Les VAN effectives sont dans la plupart des cas soit similaires soit inférieures aux VAN planifiées.

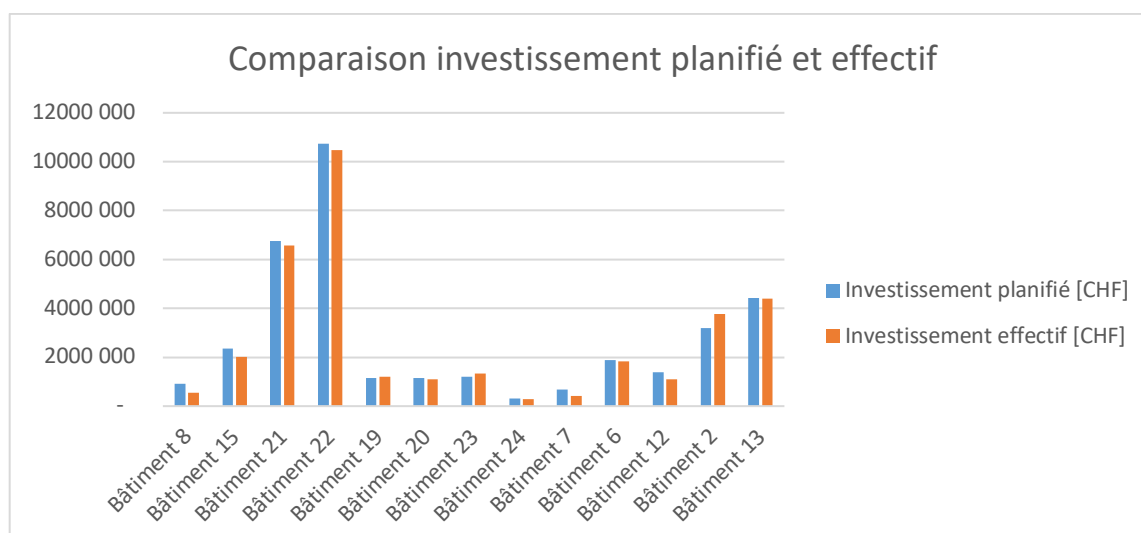


Figure 5 : Comparaison des investissements planifiés et effectifs

Le graphique de la figure 5 représente la différence entre le montant des travaux prévus et effectifs. Vraisemblablement, la diminution de ce montant par rapport à ce qui était prévu ne signifie pas que les travaux ont coûté moins cher que prévu, mais plutôt qu'une partie des travaux n'a finalement pas été réalisée. Dans les cas des bâtiments 19, 23, et 2, les travaux ont finalement été plus chers que prévus.

Le graphique suivant représente les rentabilités planifiées et effectives, c'est-à-dire la part du montant des travaux qui devait être couverte par l'augmentation des états locatifs et la part qui a été effectivement couverte.

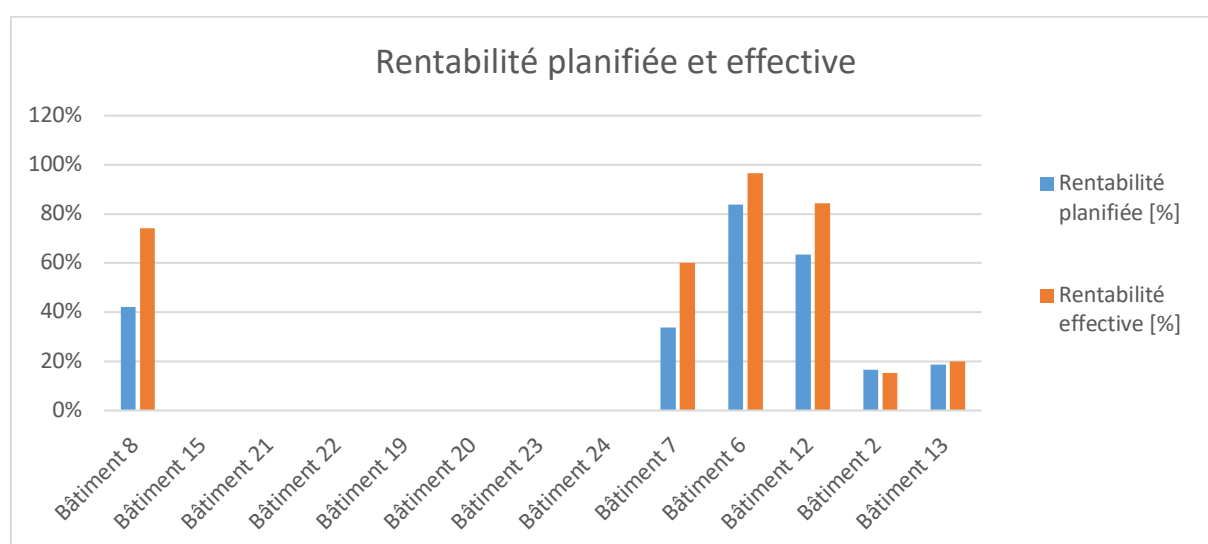


Figure 6 : Comparaison des rentabilités planifiées et effectives des rénovations

Dans tous les cas, les états locatifs planifiés et réels sont égaux car les dossiers ne donnaient pas de renseignement sur les états locatifs effectifs après travaux. Les cas où la rentabilité est

meilleure que prévue sont ceux où les coûts des travaux ont finalement été moindres. Dans les cas des bâtiments 15 à 24, la rentabilité est nulle puisque l'état locatif n'a pas été augmenté.

Le graphique qui suit propose une représentation comparative des VAN planifiées et réalisées.

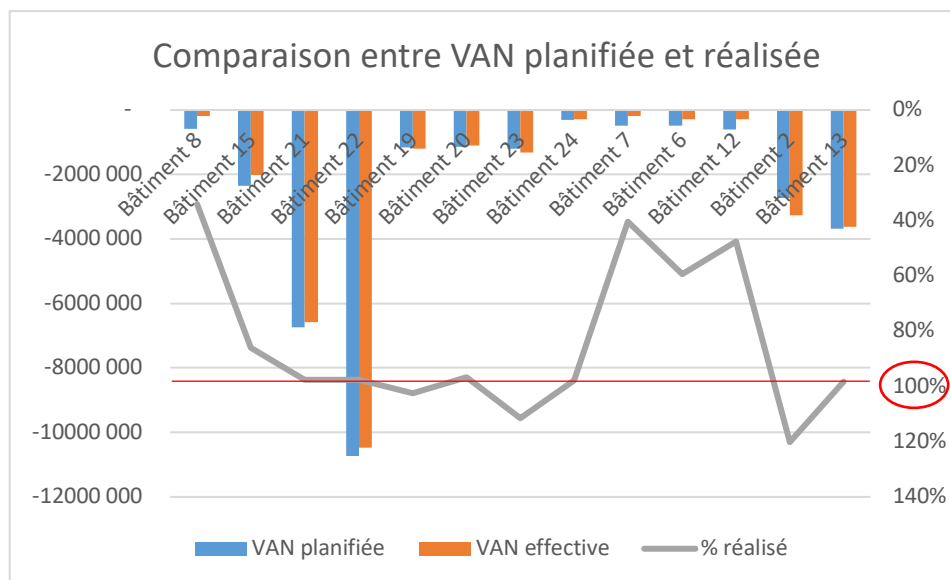


Figure 7 : Comparaison des valeurs actuelles nettes planifiées et effectives

Dans les cas où le pourcentage de la VAN finalement réalisé est inférieur à 100%, et étant donné qu'il s'agit de valeurs négatives, cela signifie que le montant non remboursé par l'augmentation des loyers est moindre. Cela est dû à une diminution du coût des travaux par rapport à ce qui était prévu.

3.2.2 Évaluation pour le locataire

Le graphique de la figure 12 représente l'évaluation économique de chaque projet de rénovation du point de vue des locataires. Cette évaluation est définie comme étant la différence entre la diminution des charges et l'augmentation de l'état locatif : si la valeur est positive cela signifie que le locataire voit son budget total diminuer grâce aux travaux. A l'inverse, si elle est négative, la hausse de loyer est plus importante que la diminution des charges, et la rénovation a un effet négatif sur le budget total du locataire. Dans la plupart des cas, les économies de charges réalisées sont moindres que prévu ; le bénéfice pour le locataire est donc moins important que prévu. Dans le cas du bâtiment 2, le locataire devait faire une économie assez limitée, et les diminutions de charges effectives étant plus basses que prévu, les travaux ont finalement un impact négatif sur le budget du locataire. Pour finir, dans les cas des bâtiments

8, 7, 6, 12 et 13, les locataires subissent une augmentation de loyer bien supérieure à la diminution des charges.

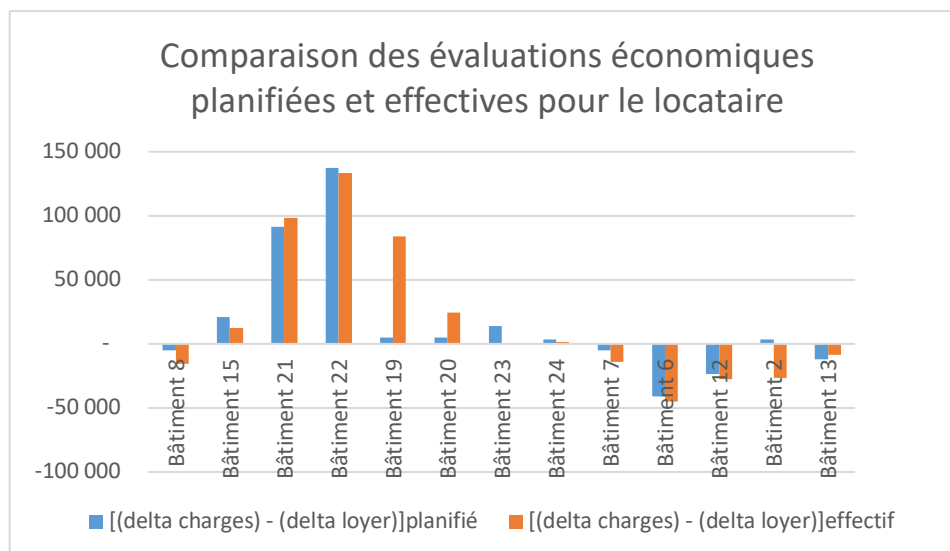


Figure 8 : Comparaison des évaluations économiques, planifiées et effectives, pour le locataire

3.3 Évaluation environnementale

Les résultats de l'évaluation environnementale sont présentés dans la figure 9. En phase de planification, tous les projets permettent une réduction des émissions de CO₂, réalisée par une amélioration des performances de l'enveloppe, un changement des systèmes de production de chaleur, ou une combinaison des deux. A l'instar de l'évaluation économique, les résultats effectifs sont systématiquement inférieurs à ceux qui étaient attendus, voire parfois inexistant.

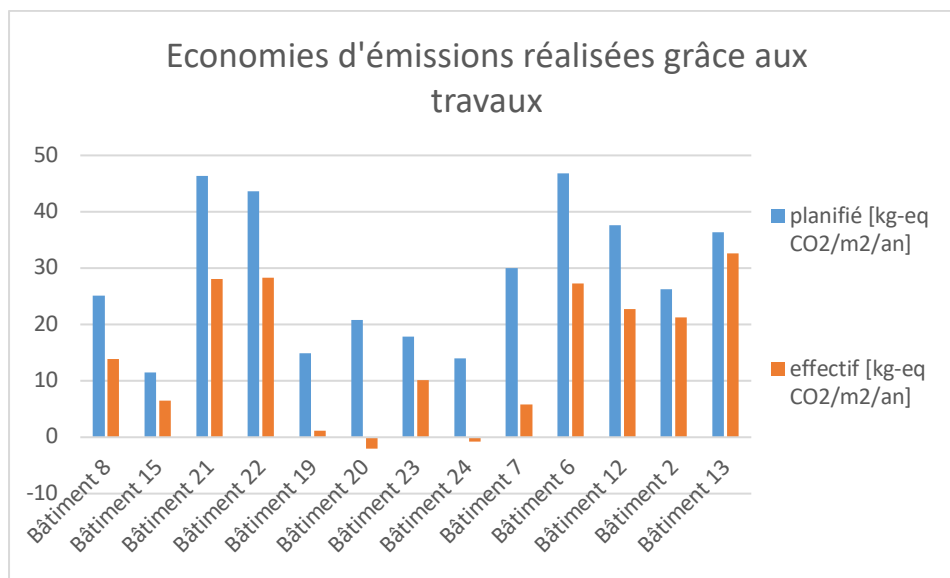


Figure 9 : Economies d'émissions de CO2 dues aux travaux de rénovation, rapportées à la surface de référence énergétique

En moyenne, les économies planifiées sont de 29 kg-eq CO2/m2/an, alors qu'elles ne sont en réalité que de 15 kg-eq CO2/m2/an. C'est presque moitié moins que ce qui était prévu. Les résultats effectifs négatifs des bâtiments 20 et 24 signifient que les émissions ont augmenté après les travaux de rénovation.

4. ANALYSE AU CAS PAR CAS

Bâtiment 8

Tableau 5 : Description de la rénovation du bâtiment 8

Bâtiment 8					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2012			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- installation de capteurs solaires thermiques					
- remplacement de la chaudière (avant : gaz ; après : mazout)					
Budget					
total	1 110 000	CHF			
/m2 SRE	550	CHF/m2			
/pièce	14 510	CHF/pièce			
IDC					
Avant	514	MJ/m2/an			
Planifié après	275	MJ/m2/an			
Réel après	453	MJ/m2/an			
réalisé	26	%			
Etat locatif					
Avant	337 300	CHF/an			
Avant	167	CHF/m2/an			
Avant	4 162	CHF/pièce/an			
Après	352 800	CHF/an			
ΔEL_réel	15 498	CHF/an	ΔEL_théorique	19 312	CHF/an
VAN_réel	-143 817	CHF	VAN_théorique	-122 815	CHF/an

Une rénovation globale a été effectuée sur le bâtiment 8. Le montant des travaux par m2 de SRE est relativement bas comparativement aux autres cas, surtout compte tenu du fait qu'il s'agit d'une rénovation globale. La part de réduction de l'IDC par rapport à ce qui était prévu est basse : seulement 26% des économies d'énergie attendues sont réalisées. L'augmentation réelle des loyers correspond à 80% de l'augmentation maximale théorique¹⁷. En prenant en compte cette augmentation des loyers et les subventions, l'investissement engagé pour les travaux est amorti à plus de deux tiers. Il faut noter que le loyer initial était supérieur au plafond LTDR, ce qui limite les augmentations potentielles de loyer et donc la rentabilité de l'investissement.

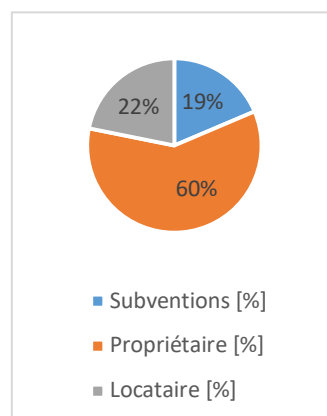


Figure 10 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 8

¹⁷ <http://ge.ch/energie/5batiments-locatifs-soumis-la-ldtr> ;

Bâtiment 15

Tableau 6 : Description de la rénovation du bâtiment 15

Bâtiment 15					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2013			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Partielle			
Détail des travaux					
- façades					
- fenêtres					
Budget					
total		2 400 000	CHF		
/m2 SRE		350	CHF/m2		
/pièce		10 000	CHF/pièce		
IDC					
Avant		465	MJ/m2/an		
Planifié après		326	MJ/m2/an		
Réel après		387	MJ/m2/an		
réalisé		56	%		
Etat locatif					
Avant		-	CHF/an		
Avant		-	CHF/m2/an		
Avant		-	CHF/pièce/an		
Après		-	CHF/an		
ΔEL_réel		-	CHF/an	ΔEL_théorique	50 247 CHF/an
VAN réel		-	CHF	VAN théorique	-1 500 000 CHF

Il s'agit d'un cas de rénovation partielle, dont le montant des travaux par surface est bas. Les résultats escomptés sont vérifiés à 56%, ce qui correspond à la fourchette haute des résultats obtenus sur les différents cas étudiés.

Les informations concernant les états locatifs des immeubles, avant et après rénovation, sont tirées des dossiers des régies. Dans le cas du bâtiment 15, aucune information concernant l'état locatif n'est disponible. Pour calculer la VAN de ce projet, on considère donc l'augmentation théorique maximale de l'augmentation du loyer¹⁸. Cette augmentation théorique, calculée selon la baisse prévisible des charges, est de 50'247 CHF/an et donne une VAN de -1'500'000 CHF, soit à peine 38% des frais engendrés par le propriétaire seraient amortis.

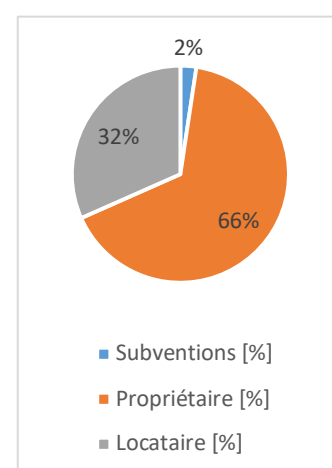


Figure 11 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 15

¹⁸ <http://ge.ch/energie/5batiments-locatifs-soumis-la-ldtr> ;

Bâtiment 21 (similaire au 22)

Tableau 7 : Description de la rénovation du bâtiment 21

Bâtiment 21					
Année de construction		1920 - 50			
Année de rénovation		2013			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Globale [Minergie]			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- plancher					
- installation de capteurs solaires thermiques					
- ventilation					
- remplacement de la chaudière (avant : mazout ; après : gaz)					
Budget					
total		7 570 000	CHF		
/m2 SRE		1 020	CHF/m2		
/pièce		21 625	CHF/pièce		
IDC					
Avant		544	MJ/m2/an		
Planifié après		21	MJ/m2/an		
Réel après		264	MJ/m2/an		
réalisé		54	%		
Etat locatif					
Avant		1 072 260	CHF/an		
Avant		90	CHF/m2/an		
Avant		1 915	CHF/pièce/an		
Après		1 072 260	CHF/an		
ΔEL_réel		0	CHF/an	ΔEL_théorique	1 044 134 CHF/an
VAN réel		-6 584 613	CHF	VAN théorique	-6 597 900 CHF

Les cas 21 et 22 sont très similaires. Ces rénovations lourdes ont pour but de faire atteindre des performances Minergie aux bâtiments. Les travaux engagés sont élevés, ce qui est cohérent avec le type de rénovation choisi. Dans ces deux cas, la part des économies d'énergie effectivement réalisées est similaire et relativement haute par rapport aux autres cas, cependant il faut noter que les IDC visés étaient très bas. Des besoins de chaleur si faibles sont-ils réellement possibles, particulièrement dans le cas d'une rénovation ? Le règlement Minergie¹⁹ précise que les besoins de chaleur considérés doivent être au minimum de 15 kWh/m2/an, soit 54 MJ/m2/an, même si le calcul selon la SIA 380/1 donne un résultat inférieur. Si l'on considère 54 MJ/m2/an comme

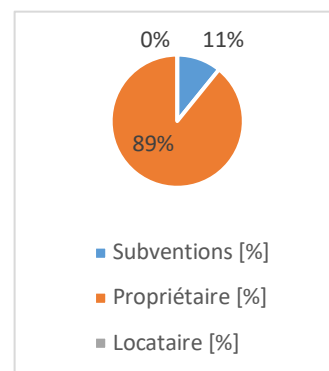


Figure 12 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 21

¹⁹ Règlement des labels Minergie/Minergie-P/Minergie-A, version 2017.3, page 7 ;

étant l'IDC prévu, les économies réalisées s'élèvent à respectivement 57% et 51% pour les cas 21 et 22.

Dans ces deux cas, les informations tirées des dossiers des régies ne précisent aucune augmentation des loyers à la suite des travaux. Ces résultats sont étonnants, car la rentabilisation de l'investissement n'est pas possible, d'autant plus qu'il s'agit d'un bâtiment privé. Sans augmentation de loyer, les motivations à l'origine des travaux sont difficilement compréhensibles.

Bâtiment 22 (similaire au 21)

Tableau 8 : Description de la rénovation du bâtiment 22

Bâtiment 22					
Année de construction		1920 - 50			
Année de rénovation		2013			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Globale [Minergie]			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- plancher					
- installation de capteurs solaires thermiques					
- ventilation					
- remplacement de la chaudière (avant : mazout ; après : gaz)					
Budget					
total		12 040 000	CHF		
/m2 SRE		1 020	CHF/m2		
/pièce		21 500	CHF/pièce		
IDC					
Avant		574	MJ/m2/an		
Planifié après		18	MJ/m2/an		
Réel après		306	MJ/m2/an		
réalisé		48	%		
Etat locatif					
Avant		686 940	CHF/an		
Avant		92	CHF/m2/an		
Avant		1 962	CHF/pièce/an		
Après		686 940	CHF/an		
ΔEL_réel		0	CHF/an	ΔEL_théorique	639 700 CHF/an
VAN réel		-10 473 969	CHF	VAN théorique	3 257 800 CHF

Bâtiment 19

Tableau 9 : Description de la rénovation du bâtiment 19

Bâtiment 19					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2012			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Partielle			
Détail des travaux					
- façades					
- fenêtres					
Budget					
total		1 200 000	CHF		
/m2 SRE		945	CHF/m2		
/pièce		29 130	CHF/pièce		
IDC					
Avant		538	MJ/m2/an		
Planifié après		358	MJ/m2/an		
Réel après		524	MJ/m2/an		
réalisé		8	%		
Etat locatif					
Avant		166 860	CHF/an		
Avant		134	CHF/m2/an		
Avant		4 120	CHF/pièce/an		
Après		166 860	CHF/an		
ΔEL_réel		0	CHF/an	ΔEL_théorique	9 860 CHF/an
VAN_réel		-1 189 812	CHF	VAN_théorique	-1 006 000 CHF

Les montants engagés dans ces travaux, s'agissant d'une rénovation partielle, semblent plutôt élevés au regard des autres cas. Par ailleurs, le pourcentage de réduction d'IDC effectivement réalisé est très bas : seulement 8% des résultats attendus sont obtenus.

Encore une fois, le dossier n'indique aucune augmentation de l'état locatif après les travaux, ce qui semble peu probable. Cependant, la VAN correspondant à une augmentation des loyers maximale théorique (9'860 CHF/an) est de -1'006'000 CHF, soit seulement 16% des montants des travaux rentabilisés. La motivation derrière la réalisation de ces travaux est encore à définir.

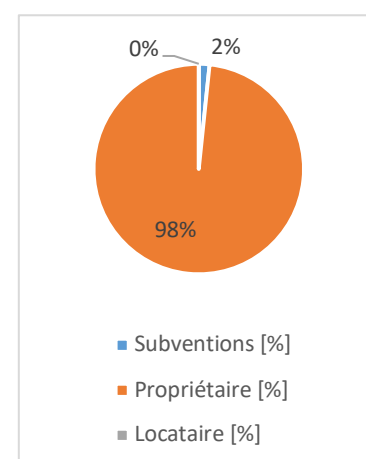


Figure 13 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 19

Bâtiment 20

Tableau 10 : Description de la rénovation du bâtiment 20

Bâtiment 20					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2011			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Partielle			
Détail des travaux					
- toiture					
- fenêtres					
Budget					
total		1 180 000	CHF		
/m2 SRE		1 293	CHF/m2		
/pièce		18 442	CHF/pièce		
IDC					
Avant		486	MJ/m2/an		
Planifié après		234	MJ/m2/an		
Réel après		510	MJ/m2/an		
réalisé		IDC_après,réel > IDC_avant			
Etat locatif					
Avant		282 468	CHF/an		
Avant		310	CHF/m2/an		
Avant		4 414	CHF/pièce/an		
Après		282 468	CHF/an		
ΔEL_réel		0	CHF/an	ΔEL_théorique	12 777 CHF/an
VAN réel		-1 101 117	CHF	VAN théorique	-936 800 CHF

Dans ce cas, l'IDC est plus important après les rénovations qu'avant. La première conclusion serait que les travaux de rénovations aient dégradé les performances énergétiques du bâtiment, ce qui semble peu probable. Ce résultat pourrait être dû à une combinaison de plusieurs causes :

- un changement de locataires après les rénovations : le comportement des nouveaux locataires amènerait une consommation plus importante d'énergie ;
- si l'on considère qu'une partie des appartements est inoccupée avant les travaux et occupée après, et que la consommation nulle de cette surface est prise en compte dans le calcul de l'IDC moyen avant rénovation, cela biaise les résultats obtenus ;
- une mauvaise mise en place des travaux créant des ponts thermiques.

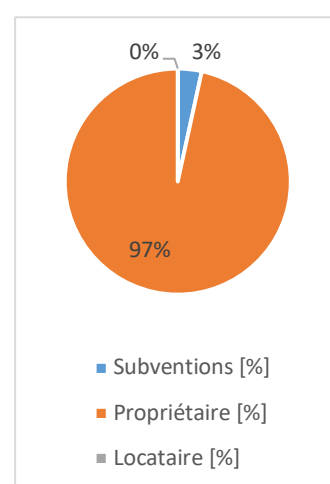


Figure 14 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 20

Bâtiment 23

Tableau 11 : Description de la rénovation du bâtiment 23

Bâtiment 23					
Année de construction		1961 - 70			
Année de rénovation		2011			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Quasi-globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- fenêtres					
- plancher					
- remplacement de la chaudière (avant : CADIOM ; après : CADIOM)					
Budget					
total		1 254 000	CHF		
/m2 SRE		497	CHF/m2		
/pièce		11 101	CHF/pièce		
IDC					
Avant		618	MJ/m2/an		
Planifié après		413	MJ/m2/an		
Réel après		502	MJ/m2/an		
réalisé		57	%		
Etat locatif					
Avant		407 292	CHF/an		
Avant		161	CHF/m2/an		
Avant		3 604	CHF/pièce/an		
Après		407 292	CHF/an		
ΔEL_réel		0	CHF/an	ΔEL théorique	20 847 CHF/an
VAN réel		-1 328 159	CHF	VAN théorique	-869 792 CHF

Il s'agit ici d'une rénovation quasi-globale (cependant les façades ne sont pas affectées), et les coûts engagés sont relativement bas. 57% des économies attendues sont effectivement réalisées, ce qui est plutôt un bon résultat en comparaison aux autres cas, mais il faut noter que l'IDC planifié est élevé. Le choix d'une rénovation partielle dans ce cas peut peut-être s'expliquer par l'état locatif relativement élevé avant les travaux (> plafond LDTR), qui limite l'augmentation possible des loyers. Encore une fois, l'augmentation des loyers prévue est nulle. Il faut déterminer s'il ne s'agit que d'un manque d'information ou, si c'est effectivement le cas, ce qui pousse les propriétaires à engager des travaux qui ne peuvent pas être rentabilisés par une augmentation des loyers.

Si l'on considère l'augmentation maximale théorique des loyers, les travaux peuvent être rentabilisés à 30%.

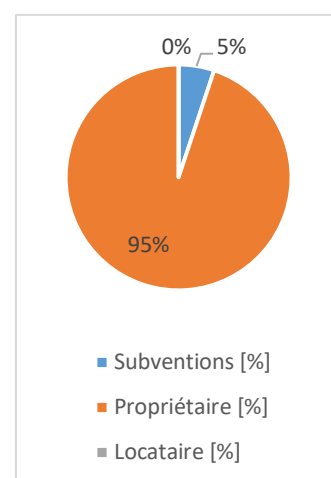


Figure 15 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 23

Bâtiment 24

Tableau 12 : Description de la rénovation du bâtiment 24

Bâtiment 24					
Année de construction		19e siècle			
Année de rénovation		2011			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Partielle			
Détail des travaux					
- toiture					
- fenêtres					
Budget					
total		309 580	CHF		
/m2 SRE		340	CHF/m2		
/pièce		10 320	CHF/pièce		
IDC					
Avant		486	MJ/m2/an		
Planifié après		317	MJ/m2/an		
Réel après		497	MJ/m2/an		
réalisé		IDC_après,réel > IDC_avant			
Etat locatif					
Avant		276 036	CHF/an		
Avant		302	CHF/m2/an		
Avant		9 200	CHF/pièce/an		
Après		276 036	CHF/an		
ΔEL_réel		0	CHF/an	ΔEL_théorique	7 027 CHF/an
VAN_réel		-293 286	CHF	VAN_théorique	-190 042 CHF

Le bâtiment 24 a subi une rénovation partielle et le montant des travaux, reporté à la SRE, est très bas. Il faut noter également que l'état locatif avant travaux est élevé. L'augmentation de l'état locatif est encore une fois nulle. Si l'on considère l'augmentation théorique de l'état locatif, l'investissement peut être rentabilisé à hauteur de 40% environ.

Comme dans le cas du bâtiment 20, l'IDC effectif après travaux est supérieur à l'IDC initial. De la même façon, des questions se posent : le comportement des locataires a-t-il changé ? Les calculs d'IDC ont-ils été biaisés par une utilisation différente des surfaces ? Ces mauvais résultats peuvent-ils être expliqués partiellement par une mauvaise exécution des travaux ou des changements de choix en phase de mise en place ?

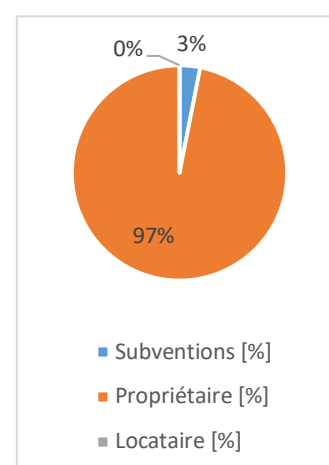


Figure 16 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 24

Bâtiment 7

Tableau 13 : Description de la rénovation du bâtiment 7

Bâtiment 7					
Année de construction		19e siècle			
Année de rénovation		2013			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- installation de capteurs solaires thermiques					
- remplacement de la chaudière (avant : mazout ; après : gaz)					
Budget					
total		816 415	CHF		
/m2 SRE		1 116	CHF/m2		
/pièce		29 160	CHF/pièce		
IDC					
Avant		617	MJ/m2/an		
Planifié après		332	MJ/m2/an		
Réel après		715	MJ/m2/an		
réalisé		IDC_après,réel > IDC_avant			
Etat locatif					
Avant		146 388	CHF/an		
Avant		200	CHF/m2/an		
Avant		5 230	CHF/pièce/an		
Après		156 134	CHF/an		
ΔEL_réel		9 746	CHF/an	ΔEL_théorique	8 651 CHF/an
VAN réel		-164 490	CHF		

Une rénovation globale a été effectuée sur ce bâtiment, et le coût des travaux rapporté à la surface est élevé. Une grande réduction de l'IDC était attendue, et pourtant, l'IDC effectif après travaux est supérieur à celui avant les travaux. Ce cas, comme les cas 20 et 24, révèle la défaillance possible des rénovations telles qu'elles sont faites aujourd'hui.

Si l'on considère la rentabilisation du projet grâce à l'augmentation des états locatifs, il faut noter que dans ce cas-ci, l'augmentation réelle est supérieure à celle calculée théoriquement. Les méthodes de calcul des augmentations des loyers par les régies devraient être vérifiées. La VAN calculée avec l'augmentation réelle des loyers montre que l'investissement est rentabilisé à 34% sur la durée de vie prévue.

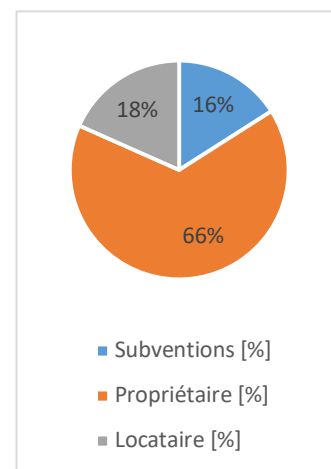


Figure 17 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 7

Bâtiment 6

Tableau 14 : Description de la rénovation du bâtiment 6

Bâtiment 6					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2013			
Type de propriété		Privé			
Rénovation :		Globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- plancher					
- installation de capteurs solaires thermiques					
Budget					
total		2 172 337	CHF		
/m2 SRE		1 062	CHF/m2		
/pièce		22 629	CHF/pièce		
IDC					
Avant		602	MJ/m2/an		
Planifié après		37	MJ/m2/an		
Réel après		272	MJ/m2/an		
réalisé		58	%		
Etat locatif					
Avant		332 232	CHF/an		
Avant		162	CHF/m2/an		
Avant		3 461	CHF/pièce/an		
Après		398 144	CHF/an		
ΔEL_réel		65 912	CHF/an	ΔEL_théorique	36 942 CHF/an
VAN réel		-60 206	CHF		

Le cas 6 concerne une rénovation globale de bâtiment. Les coûts engendrés relativement hauts. De la même façon que dans les cas 21 et 22, l'IDC planifié est très bas. Le pourcentage réalisé de cette réduction de consommation est relativement haut comparativement aux autres cas.

Comme dans le cas du bâtiment 7, l'augmentation de loyer réelle est supérieure à l'augmentation théorique. Cette augmentation réelle permet une rentabilisation de l'investissement à hauteur de 60%.

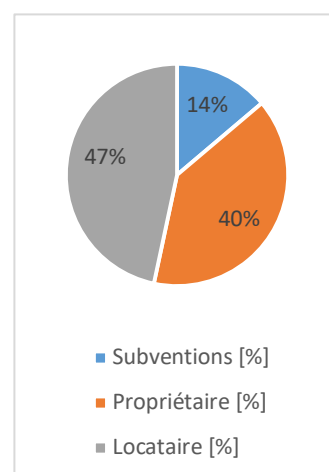


Figure 18 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 6

Bâtiment 12

Tableau 15 : Description de la rénovation du bâtiment 12

Bâtiment 12					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2014			
Type de propriété		Public			
Rénovation :		Globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- installation de capteurs solaires thermiques					
Budget					
total		1 546 792	CHF		
/m2 SRE		1 400	CHF/m2		
/pièce		28 644	CHF/pièce		
IDC					
Avant		662	MJ/m2/an		
Planifié après		207	MJ/m2/an		
Réel après		387	MJ/m2/an		
réalisé		60	%		
Etat locatif					
Avant		194 700	CHF/an		
Avant		176	CHF/m2/an		
Avant		3 606	CHF/pièce/an		
Après		229 407	CHF/an		
ΔEL_réel		34 707	CHF/an	ΔEL_théorique	17 626 CHF/an
VAN réel		-171 743	CHF		

Le bâtiment 12 a subi une rénovation globale. Le budget investi par surface de référence est élevé. Dans ce cas, la réduction d'IDC souhaitée était importante et le pourcentage effectivement réalisé est élevé. Cependant, l'augmentation de loyer qui en découle ne permet de rentabiliser ce projet qu'à 46%. Comme dans les cas 7 et 6, l'augmentation théorique des loyers est inférieure à celle réalisée.

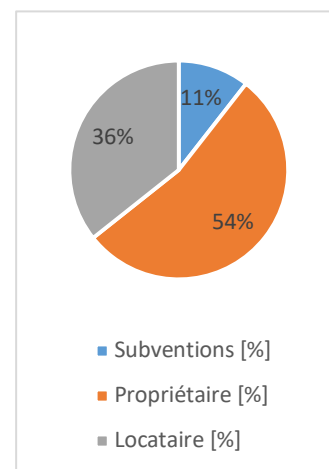


Figure 19 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 12

Bâtiment 2

Tableau 16 : Description de la rénovation du bâtiment 2

Bâtiment 2					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2012			
Type de propriété		Public			
Rénovation :		Globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- façades					
- fenêtres					
- plancher					
- installation de capteurs solaires thermiques					
- remplacement de la chaudière (avant : mazout ; après : gaz)					
Budget					
total		4 578 000	CHF		
/m2 SRE		993	CHF/m2		
/pièce		29 727	CHF/pièce		
IDC					
Avant		531	MJ/m2/an		
Planifié après		282	MJ/m2/an		
Réel après		361	MJ/m2/an		
réalisé		68	%		
Etat locatif					
Avant		675 840	CHF/an		
Avant		146	CHF/m2/an		
Avant		4 389	CHF/pièce/an		
Après		697 936	CHF/an		
ΔEL_réel		22 096	CHF/an	ΔEL_théorique	43 281 CHF/an
VAN_réel		-2 850 000	CHF	VAN_théorique	-2 523 000 CHF

Le montant relativement élevé des travaux est en accord avec la rénovation globale effectuée sur ce bâtiment. Les économies d'énergie attendues étaient très importantes et le pourcentage effectivement réalisé est très élevé comparativement aux autres cas. Il faut noter que, en plus des travaux sur l'enveloppe, le système de production de chaleur a été changé, passant d'une chaudière à mazout à une chaudière à gaz.

Dans ce cas, l'augmentation réelle de loyer correspond environ à la moitié de l'augmentation théorique calculée. La VAN induite permet de rentabiliser 38% de l'investissement, contre 45% si l'on prend en compte l'augmentation théorique des loyers.

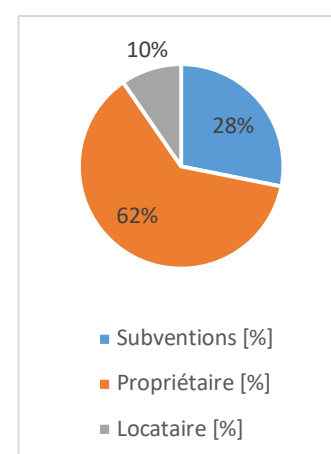


Figure 20 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 2

Bâtiment 13

Tableau 17 : Description de la rénovation du bâtiment 13

Bâtiment 13					
Année de construction		1971 - 80			
Année de rénovation		2013			
Type de propriété		Public			
Rénovation :		Quasi-globale			
Détail des travaux					
- toiture					
- fenêtres					
- plancher					
- installation de capteurs solaires thermiques					
- remplacement de la chaudière (avant : mazout+gaz ; après : CAD+gaz)					
Budget					
total		4 422 878	CHF		
/m2 SRE		919	CHF/m2		
/pièce		22 451	CHF/pièce		
IDC					
Avant		722	MJ/m2/an		
Planifié après		486	MJ/m2/an		
Réel après		592	MJ/m2/an		
réalisé		55	%		
Etat locatif					
Avant		648 204	CHF/an		
Avant		134	CHF/m2/an		
Avant		3 290	CHF/pièce/an		
Après		683 957	CHF/an		
ΔEL réel		35 753	CHF/an	ΔEL théorique	55 181 CHF/an
VAN réel		-3 880 000	CHF	VAN théorique	-3 590 000 CHF

Le bâtiment 13 subi une rénovation quasi-globale de son enveloppe (les façades ne sont pas rénovées), et un changement de son système de production de chaleur, passant d'une chaudière à mazout à un système de chauffage à distance. Les montants des travaux sont élevés, en phase avec ce type de travaux. Les objectifs d'IDC après travaux sont peu ambitieux, mais le bâtiment présentant un IDC initial très élevé, cela représente tout de même d'importantes économies d'énergie. Finalement, 55% de ces économies sont effectivement relevées. L'augmentation des loyers mise en place après les travaux est inférieure à celle calculée théoriquement. Cette augmentation permet de rentabiliser le montant des travaux seulement à hauteur de 13%. Comme dans les cas précédents, ces résultats ne permettent pas de comprendre les motivations à engager des rénovations. Il faut noter cependant dans ce cas qu'il s'agit d'un bâtiment public, et que les biens publics ont pour rôle de servir d'exemple, ce qui pourrait représenter une justification partielle à cette rénovation lourde.

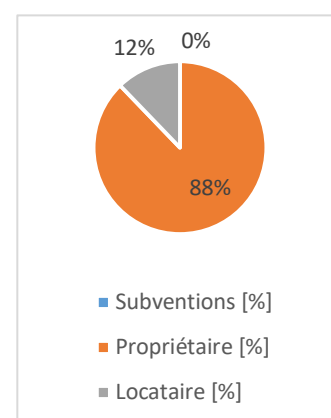


Figure 21 : Répartition des coûts (selon données tirées du dossier SIG) – Bâtiment 13

5. GENERALISATION DES RESULTATS

L'analyse des résultats obtenus sur les différents cas étudiés permet de faire plusieurs remarques :

Lorsqu'une rénovation partielle est envisagée, les travaux choisis concernent soit les façades et les fenêtres (bâtiments 15 et 19), soit les toitures et les fenêtres (bâtiments 20 et 24), et le système de production de chaleur n'est pas modifié. Aux vues des résultats obtenus, les rénovations partielles présentent de mauvais chiffres quant à l'amélioration des performances techniques des bâtiments : les bâtiments 20 et 24 ont vu leur IDC augmenter après rénovation, et le bâtiment 19 a à peine réalisé 8% des améliorations prévues.

Les différences entre les IDC planifiés et réels sont dues à une combinaison de plusieurs facteurs, détaillés dans l'étude *Compare Renove : du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques*²⁰ :

- Écarts entre les conditions normées (valeurs SIA 380/1) et les conditions réelles d'utilisation ;
- Écarts dus à des erreurs d'estimation ou de calcul lors de la phase de planification ;
- Écarts dus à une mauvaise mise en place des travaux, ou à un comportement des occupants ou des gestionnaires des installations qui diffère du comportement optimal attendu.

Par ailleurs, dans les cas présents, et notamment pour les cas qui présentent des IDC après travaux supérieurs à avant travaux, il y a lieu d'approfondir la réflexion. Les usagers sont-ils les mêmes avant et après les travaux ? Si non, il est possible que des différences de comportement (température de confort supérieure, ventilation très supérieure à ce qui est préconisé...) viennent augmenter les besoins en chaleur. D'autre part, les calculs d'IDC se sont-ils faits en prenant en compte le même taux d'occupation ? Si certaines surfaces étaient inoccupées avant travaux, et que ces surfaces étaient considérées dans les calculs d'IDC initial, cela pourrait expliquer l'augmentation de l'IDC après travaux.

²⁰ KHOURY, Jad, et al. & Office fédéral de l'énergie, Office cantonal de l'énergie de Genève, Swiss Competence Center for Energy Research FEEB&D, Services industriels de Genève. COMPARE RENOVE : du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques (écarts de performance, bonnes pratiques et enseignements tirés). Genève : Office fédéral de l'énergie, Office cantonal de l'énergie de Genève, Swiss Competence Center for Energy Research FEEB&D, Services industriels de Genève, 2018 ;

Le graphique suivant compare les coûts bruts des travaux (sans considérer les subventions) au pourcentage d'économies qui a effectivement été réalisé par rapport à ce qui était attendu :

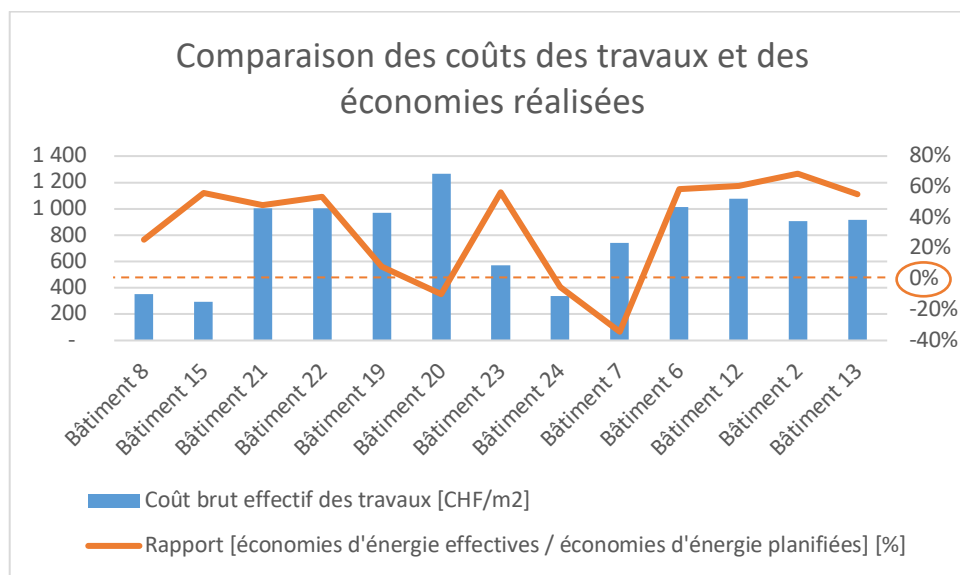


Figure 22 : Comparaison des coûts des travaux et des économies réalisées grâce aux travaux

Les cas 21, 22, 6, 12, 2 et 13 présentent des coûts relativement élevés et un taux de réussite important, ce qui semble signifier que plus les montants des travaux sont importants plus les économies réalisées le sont aussi. Cependant les cas 8, 15 et 23 ont un coût/m² plutôt bas et un pourcentage de réussite parmi les plus hauts, et à l'inverse les cas 19 et 20 font partie des plus hauts coûts de rénovation alors que les économies réalisées sont presque nulles voir négatives, ce qui vient infirmer cette théorie. Il n'existe donc aucun lien évident entre le montant des travaux et les économies de chaleur réalisées.

L'étude réalisée par J. Khoury ²¹ sur 10 bâtiments d'habitation récemment rénovés conclue que les fractions des économies théoriques réellement réalisées sont en général comprises entre 29 et 65%. Dans le cas présent, 9 des 13 cas sont compris entre 26 et 68%, ce qui tend à confirmer cela. Cependant, les 4 cas restants présentent soit des résultats presque nuls soit des résultats négatifs. Les facteurs de ces mauvais résultats restent à expliquer.

²¹ KHOURY, Jad, HOLLMULLER, Pierre, LACHAL, Bernard Marie. Energy performance gap in building retrofit: characterization and effect on the energy saving potential. In: 19. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt». 2016 ;

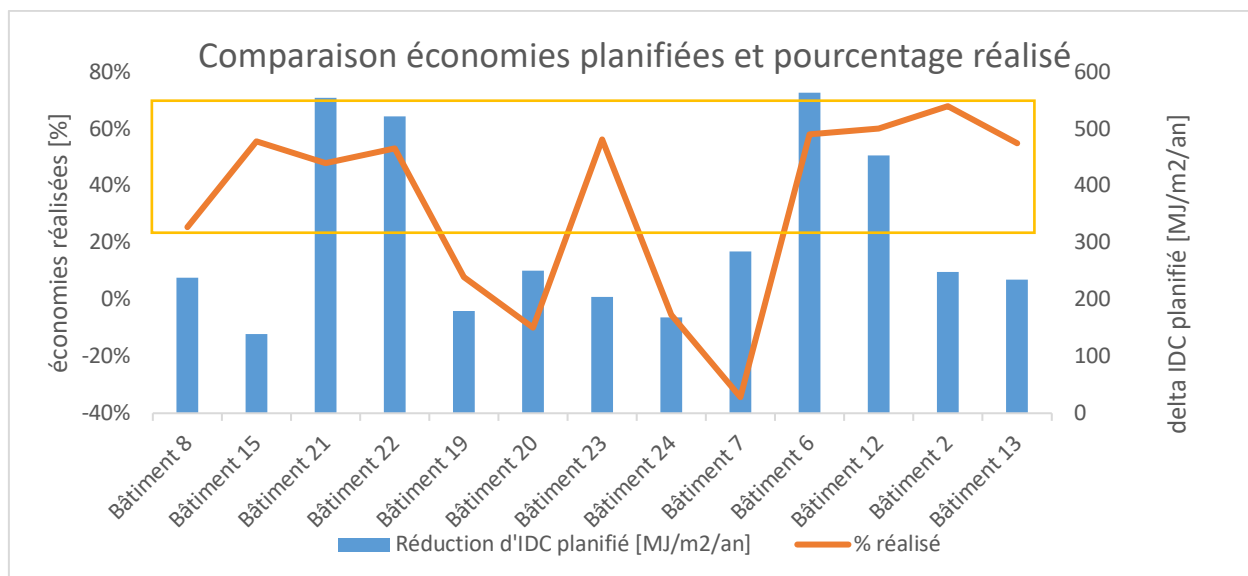


Figure 23 : Comparaison des économies planifiées et du pourcentage effectivement réalisé

D'autre part, si l'on considère les cas de rénovation dont les pourcentages d'IDC réalisés font partie de la fourchette attendue (cadre jaune sur le graphique ci-dessus), il semblerait que plus les prévisions de réduction d'IDC soient grandes, plus le pourcentage effectivement réalisé soit important.

Les VAN calculées dans cette étude ont pour but de déterminer la rentabilité des investissements mis en jeu. Aucune des VAN calculées avec les valeurs des dossiers ne donne de résultat positif. Par ailleurs, dans 7 cas sur 13, aucune augmentation de l'état locatif n'est relevée après travaux bien qu'il s'agisse d'un critère autorisant l'augmentation des loyers.

Dans un premier temps, ces résultats paraissent étonnants, car il semble naturel de penser que le propriétaire d'un immeuble cherche à rentabiliser l'investissement de la rénovation par une augmentation des loyers. En fait, dans la plupart des cas, les travaux sont nécessaires pour permettre de continuer l'exploitation du bâtiment. Reste au propriétaire à choisir entre se contenter des travaux minimums pour remettre le bâtiment en état d'être exploité, ou profiter de cette opportunité pour en améliorer les performances techniques.

Les VAN ont été recalculées en prenant en compte une augmentation théorique des loyers, d'après le calcul défini par la LDTR. Si dans certains cas, ces augmentations de loyer rendent les VAN positives, donc l'investissement rentabilisé en totalité sur la durée d'étude, la majorité des résultats restent négatifs. Ce résultat induit un questionnement : faut-il considérer une valeur résiduelle qui correspondrait à l'augmentation de la valeur foncière d'un bâtiment suite à l'amélioration de ses performances énergétiques ? Si cette valeur est délicate à définir, certaines études ont déjà démontré une augmentation de la valeur d'un bien dans le cas d'une labellisation

Minergie²². C'est ce qui est défini par le terme de *valeur verte*²³ : « l'augmentation de la valeur engendrée par la meilleure performance énergétique et environnementale d'un bien immobilier par rapport à un autre, toutes leurs caractéristiques étant égales par ailleurs ». L'augmentation du confort des utilisateurs n'est pas non plus prise en compte.

Lors du calcul de l'augmentation potentielle des loyers, l'état locatif initial rentre en compte : s'il est inférieur au seuil défini par la LDTR (3'405 CHF/pièce/an), l'augmentation de l'état locatif peut prendre en compte une augmentation pour pallier cette différence, en plus de la baisse prévisible des charges. Si l'état locatif initial est supérieur ou égal à ce seuil, seule la baisse prévisible des charges pourra justifier une augmentation de loyer. Or, plus l'augmentation de loyer est grande, plus la rentabilité des travaux est grande. Il faut donc considérer l'état initial lors de la définition des travaux à réaliser : si l'état locatif initial est bas, une rénovation globale peut être rentabilisée grâce à l'augmentation des loyers importante, mais si l'état locatif initial est élevé, une rénovation partielle, limitant les coûts, peut-être à favoriser pour être rentabilisée.

²² Salvi and al., *Impact du label Minergie sur la valeur vénale et la valeur locative en Suisse* ;

²³ Dinamic, *La valeur verte des logements d'après les bases notariales BIEN et PERVAL* ;

6. ÉTUDE DU COUT DU kWh ECONOMISE

6.1 Coût du kWh économisé global

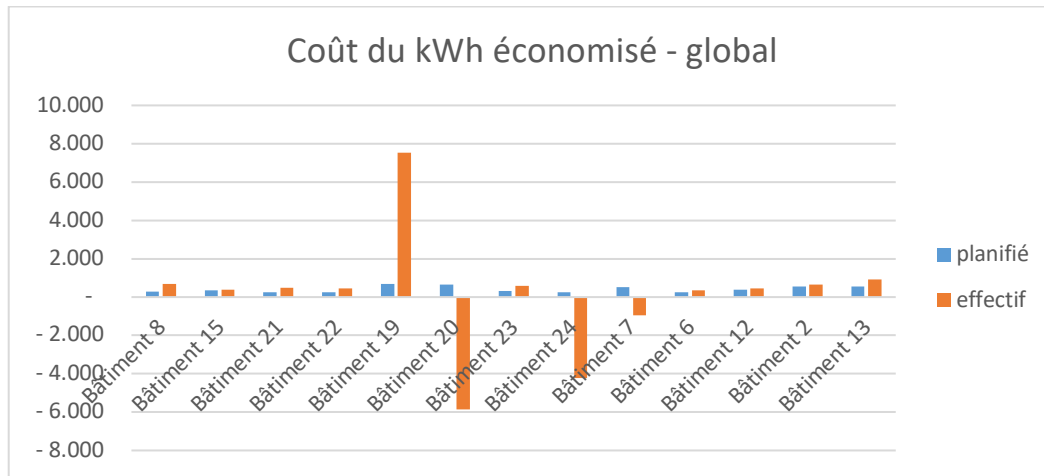


Figure 24 : Coût du kWh économisé selon le coût des travaux

Le coût du kWh économisé est défini par le prix des travaux rapporté aux économies d'énergie réalisées sur la durée d'étude. D'après la figure 24, dans les cas 20, 24 et 7, les résultats sont négatifs : cela signifie que les bâtiments consomment plus après rénovation qu'avant. Ces cas particuliers sont écartés par la suite pour une meilleure lisibilité des résultats.

En moyenne, le coût du kWh économisé planifié est de 0.41 CHF/kWh, ce qui est bien supérieur au marché actuel. En réalité, et même en ne tenant pas compte des cas extrêmes des bâtiments 19, 20, 24 et 7, le coût du kWh économisé effectif s'élève à 0.55 CHF/kWh. Il faut cependant être attentif au fait que ces coûts ne contiennent pas uniquement les travaux d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments et que des travaux auraient dans tous les cas été nécessaires pour permettre de maintenir l'exploitation du bâtiment.

6.2 Coût du kWh subventionné économisé

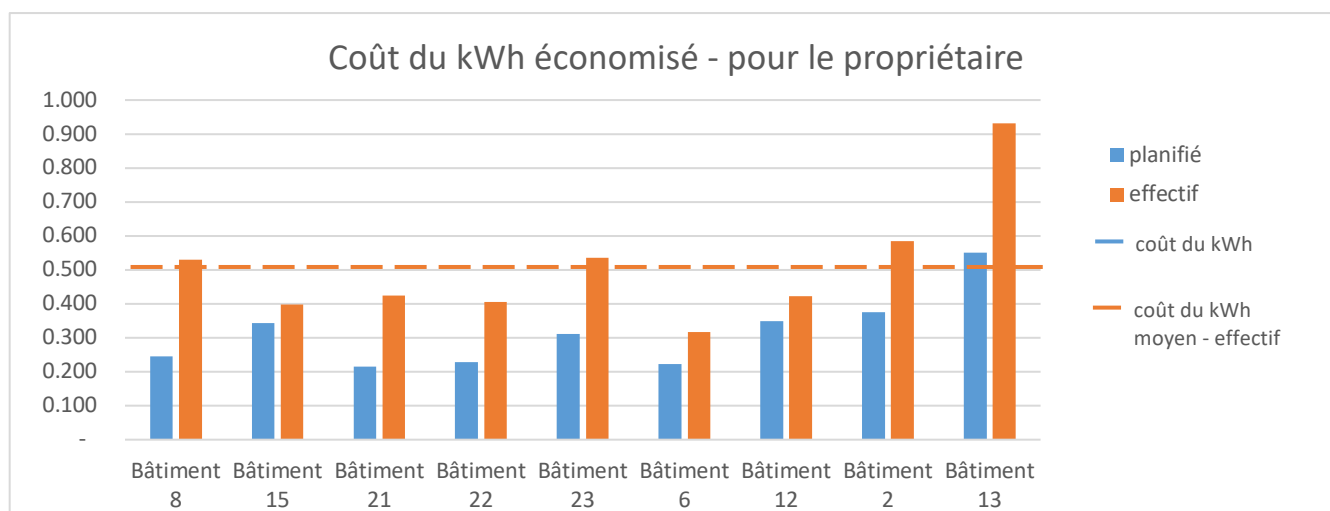


Figure 25 : Comparaison du coût du kWh économisé, planifié et effectif, pour le propriétaire

Du point de vue du propriétaire, donc en prenant en compte les subventions, et en écartant les cas extrêmes, le kWh économisé planifié coûte 0.31 CHF contre 0.51 en réalité. Les subventions permettent donc une diminution effective de 7.3% du coût du kWh économisé.

Ce prix est très élevé si l'on considère que le coût de l'énergie thermique actuellement se situe dans une fourchette comprise entre 8 et 18 centimes du kWh environ. Cependant, cet écart est amené à se réduire si les prix des énergies fossiles continuent d'augmenter et si le montant de la taxe sur le CO₂, fixé à 96 CHF/t depuis janvier 2018, est augmenté. De plus, un meilleur suivi énergétique, de la planification à l'exploitation, pourrait permettre d'augmenter les économies réalisées en gardant les mêmes coûts – ceci permettrait de réduire encore le coût du kWh économisé.

TROISIÈME PARTIE :

MISE EN PLACE D'UN OUTIL D'ÉVALUATION

DE SCÉNARIOS DE RÉNOVATION

ÉNERGÉTIQUE

1. METHODOLOGIE POUR LA MISE EN PLACE DE L'OUTIL

1.1 Définition des scénarios

Cette deuxième partie d'étude cherche à proposer une méthode d'évaluation ex-ante de projets de rénovation de bâtiments d'habitation. Le but est de comparer différents scénarios de rénovation et d'obtenir aisément et rapidement une idée des résultats qui peuvent être atteints, en termes de compétence énergétique et de rentabilité économique. Cet outil a vocation à être utilisé en première approche de la phase de planification, pour se faire une idée générale des avantages et inconvénients relatifs à chaque type de rénovation, ou pour chiffrer rapidement une variante de rénovation. Trois scénarios de rénovation sont envisagés :

Le premier scénario, le plus simple, cherche à remplir les exigences légales minimales en termes de performances de l'enveloppe²⁴ et en installant des capteurs solaires thermiques qui permettent de couvrir 30% des besoins de chaleur pour l'ECS, dans le cas où la chaleur provient d'énergies fossiles. Il est également possible à l'utilisateur de choisir de remplacer la chaudière existante par tout autre type de système de production de chaleur (CAD, chaudière à pellets, PAC...).

Les scénarios 2 et 3 respectent les exigences Minergie²⁵ : le 2^e scénario remplit ces exigences grâce à une enveloppe très performante, tout en gardant un système de production de chaleur à base d'énergie fossile, alors que le 3^e scénario propose une rénovation plus allégée de l'enveloppe mais le remplacement du système de production de chaleur par un système utilisant des énergies renouvelables en majorité.

²⁴ Annexe III ;

²⁵ Ces scénarios sont définis dans le *Règlement des labels MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®*, version 2017.3, 15. Modèles de rénovation, modèles 1 et 3 ;

		Scénario 1 : mise aux normes	
ENVELOPPE		Objectif	Mise en place
éléments opaques			
coef de transmission thermique contre extérieur - toit	U_après_ext	0.2 W/m2K	15 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 18 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre extérieur - murs	U_après_ext	0.25 W/m2K	13 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 14 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre non chauffé - murs	U_après_nc	0.25 W/m2K	13 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 14 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre terre	U_après_nc	0.25 W/m2K	14 cm XPS 0.035 W/mK
fenêtres			
coef de transmission thermique tot fenêtre	U_après	1.0 W/m2K	
facteur solaire	g_après	50%	
taux de renouvellement d'air non contrôlé après (selon type de vitrage)	n_air_après	0.14 (chgnt des cadres)	
VENTILATION			
type de ventilation		au choix : comme avant ou simple flux avec RC	
taux de renouvellement d'air contrôlé après (selon type de ventilation)	n_air_après	comme avant	
PRODUCTION DE CHALEUR			
production d'ECS			
surface de capteurs (définir les besoins en ECS pour définir la surface nécessaire en capteurs pour couvrir 30% des besoins de chaleur en ECS)	A_capteurs	besoins ECS selon SIA 380/1 : 21 kWh/m2	
production de chaleur pour chauffage			
système de production de chaleur		(gaz + solaire thermique) ; (CAD) ; (CAD + PAC) ; (chaudière à pellets + gaz) ; (géothermie + PAC)	

Figure 26 : Description des caractéristiques du scénario 1

		Scénario 2 : Minergie - modèle 1	
ENVELOPPE		Objectif	Mise en place
éléments opaques			
coef de transmission thermique contre extérieur - toit	U_après_ext	0.17 W/m2K	18 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 21 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre extérieur - murs	U_après_ext	0.20 W/m2K	15 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 18 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre non chauffé - murs	U_après_nc	0.20 W/m2K	15 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 18 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre terre	U_après_nc	0.20 W/m2K	18 cm XPS 0.035 W/mK
fenêtres			
coef de transmission thermique tot fenêtre	U_après	1.0 W/m2K	
facteur solaire	g_après	50%	
taux de renouvellement d'air non contrôlé après (selon type de vitrage)	n_air_après	0.14 (chgnt des cadres)	
VENTILATION			
type de ventilation		avec récupération de chaleur : simple flux avec RC	
taux de renouvellement d'air contrôlé après (selon type de ventilation)	n_air_après	0.09 [1/h]	
PRODUCTION DE CHALEUR			
production d'ECS			
surface de capteurs (définir les besoins en ECS pour définir la surface nécessaire en capteurs pour couvrir 30% des besoins de chaleur en ECS)	A_capteurs	besoins ECS selon SIA 380/1 : 21 kWh/m2	
production de chaleur pour chauffage			
système de production de chaleur		Gaz + solaire thermique	

Figure 27 : Description des caractéristiques du scénario 2

		Scénario 3 : Minergie - modèle 3	
ENVELOPPE		Objectif	Mise en place
éléments opaques			
coef de transmission thermique contre extérieur - toit	U_après_ext	0.2 W/m2K	15 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 18 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre extérieur - murs	U_après_ext	0.25 W/m2K	13 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 14 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre non chauffé - murs	U_après_nc	0.25 W/m2K	13 cm EPS 0.031 W/mK ; ou 14 cm laine de verre 0.035 W/mK
coef de transmission thermique contre terre	U_après_nc	0.25 W/m2K	14 cm XPS 0.035 W/mK
fenêtres			
coef de transmission thermique tot fenêtre	U_après	1.0 W/m2K	
facteur solaire	g_après	50%	
taux de renouvellement d'air non contrôlé après (selon type de vitrage)	n_air_après	0.14 (chgmt des cadres)	
VENTILATION			
type de ventilation		avec/sans récupération de chaleur : simple flux avec/sans RC	
taux de renouvellement d'air contrôlé après (selon type de ventilation)	n_air_après	0.09 [1/h]	
PRODUCTION DE CHALEUR			
production d'ECS			
surface de capteurs (définir les besoins en ECS pour définir la surface nécessaire en capteurs pour couvrir 30% des besoins de chaleur en ECS)	A_capteurs	-	
production de chaleur pour chauffage			
système de production de chaleur		(CAD) ; (CAD + PAC) ; (chaudière à pellets + gaz) ; (géothermie + PAC)	

Figure 29: Description des caractéristiques du scénario 3

1.2 Évaluation énergétique

L'évaluation de la baisse de consommation d'énergie se fait en s'inspirant de la méthode proposée dans la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations*²⁶ de chaleur et de la baisse prévisible des charges²⁷. Les calculs sont faits selon les conditions d'utilisation standards définies par la SIA 380/1, éd. 2016. Ce calcul permet de connaître les exigences légales respectées, les subventions éligibles pour les travaux et de calculer l'augmentation de loyer autorisée. Il faut noter que cette directive présente un certain nombre de limites et une partie des calculs est discutable, ce qui a mené à la modification d'une partie des calculs.

1.2.1 Éléments d'enveloppe opaques

La diminution des besoins de chaleur grâce à la rénovation de l'enveloppe est due à une diminution des pertes de chaleur qui se calcule comme suit :

$$\Delta Q_{\text{éléments opaques}} = \sum \Delta Q_{\text{éléments opaques}_{\text{mois}}} \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta Q_{\text{éléments opaques}_{\text{mois}}} = k \cdot \Delta U \cdot A_{\text{rénovée}} \cdot b \cdot DJ_{\text{mois}} \cdot 24/1000 \quad [\text{kWh}]$$

$\Delta Q_{\text{éléments opaques}} [\text{kWh}]$: réduction annuelle des besoins de chaleur via l'enveloppe ;

$\Delta Q_{\text{éléments opaques}_{\text{mois}}} [\text{kWh}]$: réduction mensuelle des besoins de chaleur via l'enveloppe, de janvier à décembre ;

$k [-]$: facteur de pondération isolation intérieure/extérieure (isolation intérieure : $k = 0.5$; isolation extérieure : $k = 1.0$), selon la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* ;

²⁶ Le terme *consommation* fait référence dans ce document à de l'énergie finale, tandis que le terme *besoins* fait référence à de l'énergie utile. La Figure 1 de la SIA 380/1:2009 « *Bilan thermique détaillé d'un bâtiment non climatisé* » aide à la compréhension des différents composants qui interviennent dans le bilan thermique d'un bâtiment, et est proposé en annexe IV ;

²⁷ *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* – Office cantonal de l'énergie ;

http://ge.ch/energie/media/energie/files/fichiers/documents/directive_relative_au_calcul_de_la_baisse_previsible_des_consommations_de_chaleur_et_de_la_baisse_previsible_des_charges_-_21.01.2013.pdf ;

$\Delta U = U_{avant} - U_{après}$ [W/(m²K)] : différence de coefficient de transmission thermique des éléments opaques avant et après rénovation ;

$A_{rénovée}$ [m²] : surface rénovée d'éléments opaques ;

b [-] : facteur de pondération (mur extérieur : $b = 1.0$; mur contre espace non chauffé : $b = 0.8$), selon la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* ;

DJ_{mois}^{28} [°C · jour] : degrés-jours pour une température inférieure au seuil de 18°C ;

1.2.2 Fenêtres

La réduction des besoins de chaleur pour le chauffage due au remplacement des fenêtres se fait grâce à l'amélioration du coefficient de transmission thermique U , du facteur de transmission d'énergie solaire g , et de la réduction de l'étanchéité à l'air.

$$\Delta Q_{fenêtre\ total} = \Delta Q_{fenêtre} + \Delta Q_{infiltration} \quad [\text{kWh}]$$

$\Delta Q_{fenêtre\ total}$ [kWh] : Réduction des pertes de chaleur par les fenêtres grâce à la rénovation ;

$\Delta Q_{fenêtre}$ [kWh] : Réduction des pertes par transmission ;

$\Delta Q_{infiltration}$ [kWh] : Réduction des pertes de chaleur par infiltration d'air non-contrôlée ;

Pertes par transmission et gains solaires

$$\Delta Q_{fenêtre\ (mois)} = (Q_{t_{avant}\ (mois)} - Q_{s_{avant}\ (mois)}) - (Q_{t_{après}\ (mois)} - Q_{s_{après}\ (mois)}) \quad [\text{kWh}]$$

$$\text{Et} \quad \Delta Q_{fenêtre} = \sum \Delta Q_{fenêtre\ (janvier\ à\ décembre)} \quad [\text{kWh}]$$

Avec :

$$Q_{t_{avant}\ (mois)} = U_{avant} \cdot A_{rénovée} \cdot DJ \cdot 24/10^3$$

$$Q_{s_{avant}\ (mois)} = \min (g_{avant} \cdot A_{rénovée} \cdot F_s \cdot F_f \cdot 0.9 \cdot G_{(mois)}/3.6 ; Q_{t_{avant}\ (mois)})$$

$$Q_{t_{après}\ (mois)} = U_{après} \cdot A_{rénovée} \cdot DJ \cdot 24/10^3$$

²⁸ OCEN : <https://www.ge.ch/document/energie-degres-jour/telecharger> ;

$$Q_{S_{\text{après}} (\text{mois})} = \min (g_{\text{après}} \cdot A_{\text{rénovée}} \cdot F_s \cdot F_f \cdot 0.9 \cdot G_{(\text{mois})} / 3.6 ; Q_{t_{\text{après}} (\text{mois})})$$

$\Delta Q_{\text{fenêtre}}$ [kWh] : Réduction des pertes par transmission ;

U_{avant} [W/(m²K)] : coefficient de transmission thermique des fenêtres avant rénovation ;

$U_{\text{après}}$ [W/(m²K)] : coefficient de transmission thermique des fenêtres après rénovation ;

DJ_{mois} ²⁹ [°C · jour] : degrés-jours pour une température inférieure au seuil de 18°C ;

g_{avant} [-] : facteur de transmission d'énergie solaire des fenêtres avant rénovation ;

$g_{\text{après}}$ [-] : facteur de transmission d'énergie solaire des fenêtres après rénovation ;

$A_{\text{rénovée}}$ [m²] : surface de fenêtres rénovée ;

$F_s = 0.72$ [-] : facteur d'ombrage moyen horizon · surplomb · écran latéral [-]

$F_f = 0.70$ [-] : quote-part vitrée des fenêtres ;

0.9 : facteur de réduction selon SIA 380/1 ;

$G_{(\text{mois})}$ [MJ/m²] : rayonnement solaire global mensuel sur le plan de la fenêtre ;

La diminution des pertes de chaleur par infiltration d'air non-contrôlée se calcule selon :

$$\Delta Q_{\text{infiltration}} = \sum \Delta Q_{\text{infiltration}_{\text{mois}}} \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta Q_{\text{infiltration}_{\text{mois}}} = \Delta V \cdot DJ \cdot c_{\text{air}} \cdot 24 / 10^6 / 3.6 \quad [\text{kWh}]$$

$\Delta Q_{\text{infiltration}}$ [kWh] : Réduction des pertes de chaleur par infiltration d'air non-contrôlée ;

$\Delta V = (n_{\text{air avant}} - n_{\text{air après}}) \cdot A_e \cdot 0.9 \cdot H$ [m³/h] : différence de débit d'air ;

$H = 2.4$ [m] : hauteur de référence des appartements ;

A_e [m²] : surface de référence énergétique³⁰ des appartements ;

0.9 : facteur de réduction selon SIA 380/1 ;

$n_{\text{air avant}}$ [1/h] : taux de renouvellement d'air non contrôlé avant rénovation ;

$n_{\text{air après}}$ [1/h] : taux de renouvellement d'air non contrôlé après rénovation ;

DJ_{mois} ³¹ [°C · jour] : degrés-jours pour une température inférieure au seuil de 18°C ;

$c_{\text{air}} = 1214.4$ [J/(m³K)] : capacité thermique de l'air à Genève ;

²⁹ OCEN : <https://www.ge.ch/document/energie-degres-jour/telecharger> ;

³⁰ Annexe V ;

³¹ OCEN : <https://www.ge.ch/document/energie-degres-jour/telecharger> ;

1.2.3 Ventilation

La réduction des pertes de chaleur grâce à un meilleur contrôle de la ventilation se calcule de la façon suivante :

$$\Delta Q_{\text{ventilation}} = \sum \Delta Q_{\text{ventilation}_{\text{mois}}} \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta Q_{\text{ventilation}_{\text{mois}}} = \Delta V \cdot DJ \cdot c_{\text{air}} \cdot 24/10^6/3.6 \quad [\text{kWh}]$$

$\Delta Q_{\text{ventilation}}$ [kWh] : Réduction annuelle des pertes de chaleur par infiltration d'air contrôlée ;

$\Delta Q_{\text{ventilation}_{\text{mois}}}$ [kWh] : Réduction mensuelle des pertes de chaleur par infiltration d'air contrôlée ;

$\Delta V = (n_{\text{air avant}} - n_{\text{air après}}) \cdot A_e \cdot 0.9 \cdot H$ [m³/h] : différence de débit d'air ;

$H = 2.4$ [m] : hauteur de référence des appartements ;

A_e [m²] : surface de référence énergétique des appartements ;

0.9 : facteur de réduction selon SIA 380/1 ;

$n_{\text{air avant}}$ [1/h] : taux de renouvellement d'air contrôlé avant rénovation ;

$n_{\text{air après}}$ [1/h] : taux de renouvellement d'air contrôlé après rénovation ;

DJ_{mois}^{32} [°C · jour] : degrés-jours pour une température inférieure au seuil de 18°C ;

$c_{\text{air}} = 1214.4$ [J/(m³K)] : capacité thermique de l'air à Genève ;

1.2.4 Eau chaude sanitaire

L'économie de la consommation de chaleur liée à l'installation de capteurs solaires thermiques est évaluée.

$$\Delta Q_{\text{ww solaire}} = A_{\text{capteurs}} \cdot \eta_{\text{moyen}} \cdot G_{45^\circ S}/3.6 \quad [\text{kWh}]$$

$\Delta Q_{\text{ww solaire}}$ [kWh] : Économies de consommation de chaleur grâce à l'installation de capteurs solaires thermiques ;

A_{capteurs} [m²] : surface de capteurs installés ;

$\eta_{\text{moyen}} = 0.40$ [-] : rendement annuel moyen ;

$G_{45^\circ S} = 3782$ [MJ/m²] : rayonnement solaire global annuel 45° sud à Genève ;

³² OCEN : <https://www.ge.ch/document/energie-degres-jour/telecharger> ;

1.2.5 Production de chaleur

Le changement des systèmes de production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire permet d'améliorer les rendements et donc de diminuer la consommation en énergie finale.

$$\Delta E_{hww IDC} = (Q_{hww}/\eta_{hww \text{ avant}} - Q_{hww}/\eta_{hww \text{ après}}) \quad [\text{kWh}]$$

Avec :

$$Q_{hww} = Q_{hww IDC} - (\Delta Q_{\text{éléments opaques}} + \Delta Q_{\text{total fenêtres}} + \Delta Q_{\text{ventilation}} + \Delta Q_{\text{ww solaire}})$$

$$Q_{hww IDC} = IDC \cdot \eta_{hww \text{ avant}} \cdot A_e / 3.6$$

$\Delta E_{hww IDC}$ [kWh] : Réduction de consommation d'énergie pour la production de chaleur grâce au changement du système de production de chaleur pour l'ECS et le chauffage ;

Q_{hww} [kWh] : Besoins de chaleur pour le chauffage et l'ECS après rénovation ;

$Q_{hww IDC}$ [kWh] : besoins de chaleur selon l'IDC pour le chauffage et l'ECS avant rénovation ;
IDC [MJ/m²] : indice de chaleur corrigé, trois dernières années avant rénovation ;

$\eta_{hww \text{ avant}}$ [-] : rendement combiné avant rénovation ;

$\eta_{hww \text{ après}}$ [-] : rendement combiné après rénovation ;

A_e [m²] : Surface de référence énergétique ;

Il est fait l'hypothèse que la répartition des besoins en chaleur pour le chauffage et l'ECS est telle que $Q_h = \frac{3}{4} Q_{hww}$; $Q_{ww} = \frac{1}{4} Q_{hww}$;

Les valeurs des rendements selon le type de production utilisé sont définies dans la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges, tableaux 5 et 6*³³. Le rendement du système de production de chaleur pour l'ECS est multiplié par un rendement $\eta_{ww, \text{distribution}} = 0.65$ pour prendre en compte les pertes lors du stockage et de la distribution de l'eau.

³³ Annexe VI;

1.2.6 Total

La diminution totale de consommation en énergie finale est la somme des diminutions de consommation liées aux diminutions de pertes de chaleur au travers de l'enveloppe, à l'installation de capteurs solaires thermiques permettant de produire une partie de la chaleur nécessaire à l'ECS, et au changement des systèmes de production de chaleur.

$$\Delta E = \Delta E_h + \Delta E_{ww} + \Delta E_{hww IDC} \quad [\text{kWh}]$$

Avec :

$$\Delta E_h = (\Delta Q_{\text{éléments opaques}} + \Delta Q_{\text{total fenêtres}} + \Delta Q_{\text{ventilation}}) / \eta_h$$

$$\Delta E_{ww} = \Delta Q_{ww \text{ solaire}} / \eta_{ww}$$

ΔE [kWh] : Réduction totale de consommation d'énergie finale grâce aux rénovations ;

ΔE_h [kWh] : Réduction de consommation grâce à la diminution des pertes de chaleur ;

ΔE_{ww} [kWh] : Réduction de consommation d'énergie pour l'ECS grâce à l'installation de capteurs solaires thermiques ;

$\Delta E_{hww IDC}$ [kWh] : Réduction de consommation d'énergie pour la production de chaleur grâce au changement du système de production de chaleur pour l'ECS et le chauffage ;

1.3 Calcul de la baisse prévisible des charges

La baisse prévisible des charges est due à la baisse des besoins de chaleur pour le chauffage et l'ECS, l'amélioration du rendement du système de production de chaleur, et la baisse de consommation d'électricité par le système de ventilation.

$$\Delta_{\text{charges}} = \Delta E \cdot p_E + \Delta E_{\text{él.ventilateur}} \cdot p_{\text{él.}} \quad [\text{CHF/an}]$$

ΔE [kWh] : baisse prévisible de la consommation

p_E [CHF/kWh] : prix de l'agent énergétique de chauffage

$\Delta E_{\text{él.ventilateur}}$ [kWh] : baisse de la consommation d'électricité pour la ventilation

$p_{\text{él.}}$ [CHF/kWh] : prix de l'électricité

$$\Delta E_{\text{él.ventilateur}} = \Delta Q_{\text{él.ventilateur}} / \eta_{\text{él}}$$

$$\Delta Q_{\text{él.ventilateur}} = \Delta V \cdot (P_{\text{avant}} - P_{\text{après}}) \cdot 365 \cdot 24 / 10^6$$

P_{avant} [W/(m³/h)] : puissance spécifique du système de ventilation avant travaux ;

$P_{\text{après}}$ [W/(m³/h)] : puissance spécifique du système de ventilation après travaux ;

$\Delta V = (n_{\text{air avant}} - n_{\text{air après}}) \cdot A_e \cdot 0.9 \cdot 2.4$ [m³/h] : différence de débit d'air ;

$\eta_{\text{él}}$ [-] : rendement électrique du système de ventilation ;

1.4 Calcul de l'augmentation potentielle de loyer

L'augmentation maximale autorisée du loyer est définie dans la *Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation* (LDTR)³⁴. Elle correspond à la baisse prévisible des charges, à laquelle peuvent être ajoutés 10 CHF/pièce/mois et une augmentation correspondant à la différence entre le loyer initial et le seuil de la LDTR (3'405 CHF/pièce/an).

- Si $EL_{\text{initial}} < 3'405$ CHF/pièce/an :

$$\Delta EL_{\text{max}} = \Delta_{\text{charges}} + 10 \text{ [CHF/pièce/mois]} * n * 12 + \Delta_{\text{seuil LDTR}} * n$$

- Si $EL_{\text{initial}} \geq 3'405$ CHF/pièce/an :

$$\Delta EL_{\text{max}} = \Delta_{\text{charges}} + 10 \text{ [CHF/pièce/mois]} * n * 12$$

EL_{initial} [CHF/pièce/an] : état locatif avant rénovation ;

ΔEL_{max} [CHF/an] : augmentation maximale autorisée de l'état locatif ;

Δ_{charges} [CHF/an] : baisse prévisible des charges ;

n : nombre de pièces ;

$\Delta_{\text{seuil LDTR}}$ [CHF/pièce/an] : différence entre le seuil défini par la LDTR et l'état locatif initial ;

³⁴ <http://ge.ch/energie/5batiments-locatifs-soumis-la-ldtr> ;

1.5 Évaluation de la rentabilité économique du projet

1.5.1 Critère d'évaluation de la rentabilité

Le montant des travaux est défini selon les valeurs utilisées par Losinger-Marazzi pour le chiffrage de leurs projets. Les montants des subventions sont définis³⁵ et soustraits au montant des travaux pour obtenir le montant effectivement payé par le propriétaire. L'évaluation économique des différents scénarios de rénovation se fait selon la méthode de calcul de la valeur actuelle nette (VAN) qui a été définie dans la première partie de l'étude :

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^T B_t \cdot (1 + a)^{-t} \quad [\text{CHF}]$$

I_0 [CHF] : investissement initial pour la rénovation

B_t [CHF/an] : Bénéfices / économies réalisées suite à la rénovation, à l'année t

$$B_t = EL_{r,t} - EL_{nr,t}$$

$EL_{r,t}$ [CHF/an] : état locatif du bâtiment rénové à l'année t

$EL_{nr,t}$ [CHF/an] : état locatif du bâtiment non-rénové à l'année t

a [-] : taux d'actualisation

T [ans] : durée de vie technique considérée pour le bâtiment rénové

Pour rappel, l'investissement réalisé est rentable si la VAN est positive (c'est-à-dire que la somme des flux entrants est supérieure à la somme des flux sortants sur la durée de l'étude). Le détail des calculs réalisés pour chiffrer les projets de rénovation sont définis ci-dessous. Tous les prix sont transformés pour être rapportés à la surface utile³⁶. Certaines hypothèses sont faites et exposées au fur et à mesure de la description du chiffrage. Comme les mêmes hypothèses ne peuvent pas s'appliquer à tous les types de projets, des facteurs correcteurs sont mis en place, et c'est à l'utilisateur de l'outil de juger de la valeur à apporter à ces facteurs selon les particularités du projet.

1.5.2 Chiffrage du système de production de chaleur

Le remplacement du système de production est décomposé en trois sous-parties : le système de production en lui-même, le réseau de distribution vertical (principal), et le réseau de distribution

³⁵ Selon le document *Critères de subventions 2018 pour le canton de Genève* ; http://www.genergie2050.ch/TABLEAU_SUBVENTIONS_2018.pdf ;

³⁶ Annexe V ;

horizontal (secondaire). Il est donc fait l'hypothèse que le réseau de distribution doit être changé en même temps que le système de production de chaleur, ce qui est une hypothèse conservatrice. Il est laissé à l'utilisateur de l'outil le soin de juger de la pertinence de cette hypothèse, qu'il peut corriger en appliquant un facteur correcteur adapté.

1.5.2.1 Production

L'hypothèse suivante, basée sur des retours d'expérience de projets de rénovation réalisés par Losinger-Marazzi, est faite : lorsque la rénovation vise à remplir les exigences légales minimales (scénario 1), la puissance de dimensionnement pour le chauffage est de $50 \text{ W/m}^2_{\text{SUP}}$ ³⁷, et lorsque la rénovation remplit les critères Minergie (scénarios 2 et 3), la puissance de dimensionnement est de $40 \text{ W/m}^2_{\text{SUP}}$. De même, la puissance nécessaire pour couvrir les besoins de chaleur pour l'ECS est définie comme valant la moitié de celle pour le chauffage.

- Puissance nécessaire pour chauffage :

$$P_{\text{chauffage}}[W] = 40 \text{ ou } 50 [W/m^2] \cdot SUP[m^2]$$

- Puissance nécessaire pour ECS :

$$P_{\text{ECS}}[W] = 0.5 \cdot P_{\text{chauffage}}$$

Lorsque le même système de production est utilisé pour fournir de la chaleur pour le chauffage et l'ECS, ce système est dimensionné pour répondre aux besoins pour le chauffage : il est en effet considéré que lorsque la chaleur pour l'ECS sera produite, le chauffage sera momentanément arrêté, ce qui est possible sans impacter le confort des habitants grâce à l'inertie thermique du bâtiment.

- Puissance totale nécessaire : $P = P_{\text{chauffage}} \quad [W/m^2_{\text{SUP}}]$

Gaz + solaire thermique

Il est considéré ici que le système de production de chaleur est remplacé par une chaudière à gaz à condensation complétée par l'installation de capteurs solaires thermiques qui doivent couvrir 30% des besoins de chaleur pour l'ECS (obligation légale lorsque la chaleur est produite à partir de combustibles fossiles). Le coût d'investissement de la chaudière se calcule selon son dimensionnement :

³⁷ Annexe V ;

- Prix chaudière à gaz à condensation : 250 [CHF/kW] ;
- Ratio chaudière à gaz à condensation :

$$ratio_{gaz} = \frac{P_{chauffage}[kW] \cdot 250[CHF/kW]}{SUP[m^2]} = 10 \text{ ou } 12.5 [CHF/m_{SUP}^2]$$

Il reste à déterminer les prix des capteurs solaires thermiques.

Le rayonnement solaire global annuel à Genève, pour une inclinaison de 45° Sud, est de $G_{45^\circ S} = 1050 [kWh/m^2]$. On considère un rendement global, prenant en compte la transformation en chaleur par les capteurs, les pertes de distribution, et la surproduction non exploitée en période estivale. Ce rendement vaut $\eta_{global} = 0.46^{38}$. La surface de capteurs solaires thermiques à installer pour couvrir 30% des besoins de chaleur pour l'ECS est donc :

$$A_{capteurs} = \frac{0.3 \cdot Q_{ww}}{\eta \cdot G_{45^\circ S}} = \frac{0.3 \cdot 75[MJ/m_{SRE}^2]^{39} \cdot SRE[m^2]/3.6}{\eta \cdot G_{45^\circ S}[kWh/m^2]} = 0.013 \cdot SRE$$

- Prix des panneaux solaires thermiques : 1100 [CHF/m²_{capteurs}]
- Ratio capteurs solaires thermiques rapporté à la surface utile principale (SUP):

$$ratio_{PS_{th}} = \frac{A_{capteurs}[m_{PS}^2] \cdot 1100[CHF/m_{PS}^2]}{0.7 \cdot SRE^{40}[m_{SU}^2]} = 20.4 [CHF/m_{SUP}^2]$$

- **Ratio total production gaz + solaire thermique :**

$$ratio_{gaz+PS} = ratio_{gaz} + ratio_{PS_{th}} = 30.4 \text{ ou } 32.9 [CHF/m_{SUP}^2]$$

³⁸ PACER, 1994, *Production d'eau chaude solaire, Dimensionnement, Montage, Mise en service, Entretien*, Office fédérale des questions conjoncturelles ;

³⁹ Selon la SIA 380/1 : 2009 ;

⁴⁰ Il est fait l'hypothèse, d'après les retours d'expérience de Losinger-Marazzi, que la surface utile principale représente en général 70% de la surface de référence énergétique ;

Chauffage à distance (CAD)

S'il y a un réseau de chauffage à distance à disposition, c'est la solution la moins coûteuse car il n'y a pas besoin d'installer un système de production, il faut juste un échangeur pour se relier au réseau.

Attention : il faut que la température du CAD soit suffisamment élevée pour l'ECS (contraintes hygiéniques). Si ce n'est pas le cas, il faut ajouter une pompe à chaleur (PAC) pour couvrir les besoins en chaleur pour l'ECS. Dans ce premier cas on fait donc l'hypothèse que la température est suffisante.

- Prix du CAD : 46 CHF/kW
- **Ratio CAD** : $ratio_{CAD} = \frac{46 \cdot P_{chauffage}}{SUP} = 1.84 \text{ ou } 2.3 \text{ [CHF/m}_{SUP}^2]$

Chauffage à distance (CAD) + pompe à chaleur (PAC)

Si la température du CAD n'est pas suffisante pour respecter les températures minimums exigées pour l'ECS, il faut ajouter une PAC pour couvrir les besoins de chaleur pour l'ECS.

- Prix du CAD : 46 CHF/kW
- Ratio CAD : $ratio_{CAD} = \frac{46 \cdot P_{chauffage}}{SUP} = 1.84 \text{ ou } 2.3 \text{ [CHF/m}_{SUP}^2]$
- Prix de la PAC : 850 CHF/kW
- Ratio PAC : $ratio_{PAC} = \frac{850 \cdot P_{ECS}}{SUP} = 17 \text{ ou } 21.25 \text{ [CHF/m}_{SUP}^2]$
- **Ratio total CAD + PAC :**

$$ratio_{CAD+PAC} = ratio_{CAD} + ratio_{PAC} = 18.84 \text{ ou } 23.55 \text{ [CHF/m}_{SUP}^2]$$

Chaudière à pellets

On ne peut pas installer une chaudière à bois seule, ce serait trop long à rallumer pour couvrir les pointes. On installe une petite chaudière à gaz en complément de la chaudière à pellets. La chaudière à gaz est dimensionnée pour couvrir les besoins en chaleur pour l'ECS, et la chaudière à pellets est dimensionnée pour couvrir les besoins de chauffage. Dans ce cas, il n'y a pas lieu d'installer des capteurs solaires thermiques car les besoins sont majoritairement couverts par une énergie renouvelable.

Attention : une chaudière à pellets nécessite un local de stockage et un accès pour camion pour recharger en pellets. Il faut aussi prendre en compte dans les frais d'entretien, les frais de décendrage qui peuvent se révéler très importants (main-d'œuvre quasi journalière pour enlever les cendres).

- Prix chaudière à pellets (chauffage) : 450 CHF/kW
- $ratio_{pellets} = \frac{450 \cdot P_{chauffage}}{SUP} = 18 \text{ ou } 22.5 [CHF/m_{SUP}^2]$
- Prix chaudière à gaz à condensation (ECS) : 250 CHF/kW
- $ratio_{gaz} = \frac{250 \cdot P_{ECS}}{SUP} = 5 \text{ ou } 6.25 [CHF/m_{SUP}^2]$

- **Ratio total production pellets + gaz :**

$$ratio_{pellets+gaz} = ratio_{pellets} + ratio_{gaz} = 23 \text{ ou } 28.75 [CHF/m_{SUP}^2]$$

Géothermie + pompe à chaleur (PAC)

Les PAC air/eau sont difficiles à mettre en place dans le cas d'une rénovation, donc rarement choisies. Les PAC saumure/eau et eau/eau fonctionnent de manière très similaire et tirent leur chaleur de la géothermie, donc l'installation de ce genre de PAC implique nécessairement l'installation de sondes géothermiques.

La puissance du sol varie, pour le canton de Genève on fait l'hypothèse d'une puissance frigorifique moyenne de 30 W/mètre linéaire. Le COP des pompes à chaleur vaut 3.

$$P_{th} = P_{él} + P_{frigo} \quad [\text{kW}]$$

Et
$$P_{él} = \frac{P_{th}}{COP} \quad [\text{kW}]$$

Donc
$$P_{frigo} = P_{th} \cdot \frac{COP-1}{COP} \quad [\text{kW}]$$

- Prix sondes : 56 CHF/m.l.
- Ratio sondes : $ratio_{sondes} = \frac{56 \left[\frac{\text{CHF}}{\text{m.l.}} \right] \cdot P_{frigo} [\text{W}]}{30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m.l.}} \right] \cdot SUP [\text{m}^2]} = 49.6 \text{ ou } 62 [\text{CHF}/\text{m}_{SUP}^2]$
- Prix PAC : 850 CHF/kW
- Ratio PAC : $ratio_{PAC} = \frac{850 \cdot P_{chauffage}}{SUP} = 34 \text{ ou } 42.5 [\text{CHF}/\text{m}_{SUP}^2]$

- **Ratio total PAC + sondes :**

$$ratio_{PAC+sondes} = ratio_{PAC} + ratio_{sondes} = 83.6 \text{ ou } 104.5 [\text{CHF}/\text{m}_{SUP}^2]$$

1.5.2.2 Distribution verticale

On considère qu'il n'y a qu'une seule colonne de distribution par appartement et que le chauffage se fait par radiateurs (un chauffage au sol serait trop compliqué à mettre en place dans le cas d'une rénovation). Un facteur correcteur permet à l'utilisateur de moduler cette hypothèse, par exemple dans le cas où les appartements auraient une géométrie particulière nécessitant plusieurs colonnes montantes.

- **Ratio distribution verticale :** $ratio_{distrib\ ver} = 10 [\text{CHF}/\text{m}_{SUP}^2]$

1.5.2.3 Distribution horizontale

On considère que le chauffage se fait au travers de radiateurs et qu'un radiateur a une puissance de 800 W.

- Nombre de radiateurs nécessaires : $\#_{radiateurs} = \frac{SUP [\text{m}^2] \cdot P_{chauffage} [\text{W}/\text{m}^2]}{800 [\text{W}/\text{radiateur}]}$
- Prix moyen d'un radiateur : 550 CHF : $prix_{radiateurs} = \#_{radiateurs} \cdot 550 [\text{CHF}/\text{radiateur}]$

Tuyauterie : pour chaque radiateur on considère qu'il y a 2 gaines de 10m (une qui rentre, une qui sort) et qu'elles ont un coût de 13 CHF/m.

- $prix_{tuyauterie} = \#_{radiateurs} \cdot 2 \cdot 10[m] \cdot 13[CHF/m]$
- Prix total distribution horizontale : $prix_{distrib\ hor} = prix_{radiateurs} + prix_{tuyauterie}$ [CHF]
- **Ratio distribution horizontale :**

$$ratio_{distrib\ hor} = \frac{prix_{distrib\ hor}}{SUP} = 40.5 \text{ ou } 50.7 [CHF/m_{SUP}^2]$$

1.5.3 Chiffrage Ventilation

Pour le chiffrage du système de ventilation, on se base sur les données fournies par la SIA 2024⁴¹ et par l'office fédéral de la statistique. D'après la SIA 2024, dans le cas de logements collectifs, il faut considérer une surface de 30 m² par personne, et un débit d'air neuf de 30 m³/h. Il est fait l'hypothèse que le logement moyen est un T3. D'après l'Office fédéral de la statistique⁴², en 2017, la surface moyenne d'un T3 à Genève est de 80 m². Il est donc considéré que dans un logement T3 vivent $\frac{80 (m^2)}{30 (m^2/personne)} = 2.66 \text{ personnes}$. Pour ce même logement, le débit d'air neuf nécessaire est donc de $2.66 (personnes) \cdot 30 ((m^3/h)/personne) = 80 m^3/h$.

On considère ainsi un besoin de ventilation moyen de 80 m³/h. Encore une fois, il est possible à l'utilisateur d'ajuster ces hypothèses au cas étudié au travers d'un facteur correcteur.

- $n_{logements} = \frac{SUP [m^2]}{80 [m^2]}$
- 1 logement hypothétique = 80 [m³/h].
- Prix d'une installation de ventilation simple flux (SF) : 19 [CHF/m³/h].
- Prix d'une installation de ventilation simple flux avec récupération de chaleur (SF avec RC) : 24 CHF/m³/h.

⁴¹ SIA Zürich, 2015, *SIA 2024 : 2015 - Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;

⁴² <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/construction-logement/logements/taille.assetdetail.6286310.html> ;

- $ratio_{ventilation SF} = \frac{80 \left[\frac{m^3/h}{logement} \right] \cdot n[logement] \cdot 19 \left[\frac{CHF}{m^3/h} \right]}{SUP[m_{SUP}^2]} = 19 [CHF/m_{SUP}^2]$
- $ratio_{ventilation SF avec RC} = \frac{80 \left[\frac{m^3/h}{logement} \right] \cdot n[logement] \cdot 24 \left[\frac{CHF}{m^3/h} \right]}{SUP[m_{SUP}^2]} = 24 [CHF/m_{SUP}^2]$

1.5.4 Chiffrage de l'Enveloppe

1.5.4.1 Fenêtres

Les prix indiqués dans le tableau ci-dessous correspondent au type de cadre choisi avec un vitrage standard $U_g = 1.0 [W/m^2K]$, auxquels il faut rajouter une plus-value de 55 [CHF/m²] pour considérer un vitrage avec $U_g = 0.7 [W/m^2K]$.

Tableau 18 : Chiffrage des fenêtres

Type de cadre	Ratio pour $U_g = 1.0 W/m^2K$	Plus-value pour $U_g = 0.7 W/m^2K$
PVC	330 [CHF/m ²]	+55 [CHF/m ²]
PVC + alu	390 [CHF/m ²]	+55 [CHF/m ²]
Bois + alu	430 [CHF/m ²]	+55 [CHF/m ²]

Un facteur correcteur peut être appliqué selon les particularités du bâtiment.

1.5.4.2 Façades

Les prix suivants sont pour les façades extérieures des bâtiments et en considérant une isolation en laine de verre ($\lambda = 0.035 W/mK$) de 16 cm d'épaisseur.

Tableau 19 : Prix des façades par typologie

Type de façade	Ratio	Plus-value pour dépose
Isolation crépi	200 [CHF/m ²]	-
Façade ventilée	425 [CHF/m ²]	+80 [CHF/m ²]

Il faut ensuite adapter ces prix aux besoins de chaque scénario : une variation de 2 cm d'épaisseur d'isolant entraîne une variation de 2.8 CHF/m².

Tableau 20 : Chiffrage des façades

Type de façade	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
----------------	------------	------------	------------

Isolation crépi	197.2 [CHF/m ²]	197.2 [CHF/m ²]	197.2 [CHF/m ²]
Façade ventilée	502.2 [CHF/m ²]	502.2 [CHF/m ²]	502.2 [CHF/m ²]

Pour les murs enterrés et contre sol, on considère un coût moyen d'environ 100 CHF/m². Un facteur correcteur peut être appliqué par l'utilisateur de l'outil selon les particularités du bâtiment.

1.5.4.3 Stores

Deux types de stores sont envisagés : il s'agit des stores les plus souvent employés lors de rénovation.

Tableau 21 : Chiffrage des stores

Type de store	Ratio
Stores à lamelles	107 [CHF/m ²]
Volets roulants	164 [CHF/m ²]

1.5.4.4 Toiture

Les prix suivants correspondent aux types de toiture les plus souvent rencontrés et considèrent une isolation de 16 cm de laine de verre ($\lambda = 0.035$ [W/mK]).

Tableau 22 : Prix des toitures par typologie

Type de toiture	Ratio	Plus-value pour dépose
Accessible avec dalette	255 [CHF/m ²]	+43 [CHF/m ²]
Inaccessible gravier	150 [CHF/m ²]	+43 [CHF/m ²]
Inaccessible végétalisée	175 [CHF/m ²]	+43 [CHF/m ²]

Il faut ensuite adapter ces prix aux besoins de chaque scénario : une variation de 2 cm d'épaisseur d'isolant entraîne une variation de 2.8 [CHF/m²].

Tableau 23 : Chiffrage des toitures

Type de toiture	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Accessible avec dalette	300.8 [CHF/m ²]	306.4 [CHF/m ²]	300.8 [CHF/m ²]

Inaccessible gravier	195.8 [CHF/m ²]	201.4[CHF/m ²]	190.2 [CHF/m ²]
Inaccessible végétalisée	220.8 [CHF/m ²]	226.4 [CHF/m ²]	215.2 [CHF/m ²]

Un facteur correcteur peut être appliqué par l'utilisateur de l'outil selon les particularités du bâtiment.

1.5.4.5 Échafaudages

On considère que la surface d'échafaudages vaut 1.3x la surface de façade vide pour plein, et a un ratio de 35 CHF/m² d'échafaudages. Encore une fois, un facteur correcteur peut être appliqué par l'utilisateur si le contexte est particulier (par exemple, si des commerces en rez-de-chaussée obligent à suspendre les échafaudages, ou s'il faut stocker des charges lourdes sur les échafaudages, ce qui oblige à avoir une résistance pour charges lourdes et entraîne une augmentation du prix des échafaudages...).

2. DISCUSSION

La méthodologie qui a conduit à la mise en place de cet outil et qui a été décrite permet de comparer différents scénarios entre eux sur une base commune, et d'obtenir une bonne première approximation en termes de coûts et de performances. Cependant plusieurs remarques doivent être faites et considérées par la suite pour une amélioration de l'outil existant. Tout d'abord, les frais d'entretien, relatifs notamment aux installations de production de chaleur et de ventilation, n'ont pas pu être pris en compte par manque de données. Ces coûts annuels, s'ils sont pris en charge par le propriétaire, tendent à diminuer la rentabilité de son investissement. A l'inverse, il faut noter que si l'agent énergétique change après rénovation et que celui-ci a un coût au kWh plus faible que précédemment, cela engendre une baisse des charges. Cela n'est pas pris en compte dans la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges*⁴³, donc n'a pas été pris en compte non plus dans cet outil pour ne pas fausser les résultats de calcul de hausse de loyer autorisée.

Les scénarios ont été définis pour être conservateurs : par exemple si le système de production de chaleur est changé, il est considéré que tout le réseau de distribution est rénové avec, ce qui n'est pas forcément le cas bien sûr. De plus, concernant le système de production de chaleur, il pourrait être envisagé de mettre en place une meilleure régulation, sans pour autant changer le système en lui-même, ce qui permet des économies d'énergie à un coût très limité.

Ensuite, il est important d'être conscient que seuls les travaux présentant une plus-value énergétique ont été considérés dans cet outil. Ce sont ces travaux qui engendrent une plus-value pour le propriétaire à travers la hausse des loyers qu'ils autorisent. Cependant, dans la réalité, d'autres travaux sont généralement effectués simultanément à la rénovation énergétique : la rénovation des parties communes, la mise aux normes incendie, la réfection des sanitaires... Ces travaux ne peuvent être directement valorisés, et dégradent donc la rentabilité de la rénovation, mais sont pourtant nécessaire à la poursuite de l'exploitation de l'immeuble. Cette différence est à prendre en compte notamment dans la partie suivante : les différents scénarios de rénovation sont appliqués à un cas réel, et ils présentent tous une VAN positive. Cela pourrait sembler être en contradiction avec la première partie de cette étude : il faut bien comprendre que seuls les travaux à plus-value énergétique sont considérés.

⁴³ *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* – Office cantonal de l'énergie ;
http://ge.ch/energie/media/energie/files/fichiers/documents/directive_relative_au_calcul_de_la_baisse_previsible_des_consommations_de_chaleur_et_de_la_baisse_previsible_des_charges_-_21.01.2013.pdf

Finalement, d'autres scénarios auraient pu être choisis (respect des exigences Minergie-P, Minergie-A⁴⁴...) et d'innombrables variantes peuvent être envisagées dans chaque cas, en termes de matériaux, de détails constructifs ou de choix de production. Les choix qui ont été fait ici tendent à représenter ce qui est le plus souvent rencontré dans les projets de rénovation.

3. APPLICATION DE L'OUTIL A UN PROJET : AVENUE DUMAS 23

Ce bâtiment d'habitation, construit en 1969 dans le quartier résidentiel de Champel, à Genève, a été rénové par Losinger-Marazzi en 2015-2016. Il est composé de 71 logements de deux à quatre pièces et demi répartis sur neuf étages, ainsi que de deux six pièces et demi en attique. L'objectif de la rénovation était d'améliorer les performances énergétiques du bâtiment, de l'assainir et d'en refaire l'étanchéité. Les données qui concernent l'état initial du bâtiment (avant rénovation) sont récupérées pour pouvoir s'en servir comme données d'entrée de l'outil.



Figure 30: Avenue Dumas 23, Vue extérieure du bâtiment,

<https://architectes.ch/fr/architectes/carouge/hiltpold-pierre-h/avenue-dumas-23>

Les tableaux suivants décrivent l'état initial du bâtiment et les données qu'ils contiennent ont servi d'input pour l'application de l'outil à ce cas réel.

Tableau 24 : Description de l'état initial du bâtiment de l'avenue Dumas

Global		
surface de référence énergétique des appartements rénovés	[m2]	6166
état locatif initial	[CHF/pièce/an]	4865
nombre de pièces dans l'immeuble	[pièces]	255.6
Surface utile principale	[m2]	4316.2

⁴⁴ Annexe II ;

Eléments d'enveloppe opaques		
éléments opaques contre extérieur		
Coefficient de transmission thermique avant intervention	[W/(m ² K)]	0.6312
surface de toiture rénovée	[m ²]	760
surface de murs contre extérieur rénovée	[m ²]	2152
isolation intérieure ou extérieure	[-]	extérieure
éléments opaques contre non chauffé		
Coefficient de transmission thermique avant intervention	[W/(m ² K)]	0.6312
surface rénovée - murs contre non chauffé jusqu'à 2m enterrés	[m ²]	0
surface rénovée - sols contre non chauffé jusqu'à 2m enterrés	[m ²]	742
surface rénovée - murs contre non chauffé à +2m enterrés	[m ²]	0
surface rénovée - sols contre non chauffé à +2m enterrés	[m ²]	0
surface rénovée contre non chauffé	[m ²]	742
isolation intérieure ou extérieure	[-]	extérieure

Fenêtres		
type de fenêtres existantes avant rénovation	[-]	double vitrage transparent
Surfaces de fenêtres rénovées par façade		
N-E	[m ²]	355
N-O	[m ²]	68
S-E	[m ²]	68
S-O	[m ²]	360
surface de stores rénovés	[m ²]	851

Ventilation		
type d'installation de ventilation avant	[-]	ventilation mécanique période 1970-90
puissance électrique du système de ventilation avant travaux	[W/(m ³ /h)]	0.37

Production de chaleur		
Système de production de chaleur et de ventilation AVANT rénovation		
système de production de chaleur pour chauffage avant rénovation	[-]	chaudière à gaz
système de production de chaleur pour l'ECS avant rénovation	[-]	chaudière à gaz
agent énergétique chauffage avant	[-]	gaz naturel
système de ventilation avant rénovation	[-]	ventilation mécanique période 1970-90
indice de chaleur corrigé, 3 dernières années avant rénovation	[MJ/m ²]	620

Les scénarios de rénovation qui ont été présentés précédemment sont appliqués à ce cas. Pour rappel, le premier scénario correspond au respect des exigences légales en termes de performances énergétiques de l'enveloppe et en installant des capteurs solaires thermiques de manière à couvrir 30% des besoins de chaleur pour l'ECS, comme il est exigé dans la Loi sur l'énergie⁴⁵. Les scénarios 2 et 3 respectent les exigences Minergie⁴⁶, le scénario 2 mettant l'accent sur une amélioration importante des performances de l'enveloppe, et le scénario 3 ayant une enveloppe similaire à celle du scénario 1 mais avec la contrainte de fournir de la chaleur provenant d'un agent énergétique renouvelable. Un certain nombre de détails constructifs restent au libre choix de l'utilisateur de l'outil, comme le type de façade ou de cadre de fenêtres choisis. Ils sont ici sélectionnés sans critère particulier mais en conservant les mêmes pour les

⁴⁵ Loi sur l'énergie (LEn), canton de Genève, article 15, alinéa 5.

⁴⁶ Règlement des labels Minergie / Minergie-P / Minergie-A, version 2017.3

trois scénarios pour qu'ils n'influencent pas les résultats. Le choix de toiture n'est par contre pas anodin : pour les scénarios 1 et 2, dans lesquels doivent être installés des panneaux solaires en toiture, il est choisi une toiture accessible avec dalle, alors que pour le scénario 3, sans panneaux, il est choisi une toiture inaccessible gravier. Les scénarios sont détaillés dans les tableaux suivants :

Tableau 25 : Description du scénario 1 appliqué au 23 avenue Dumas

Scénario 1		
choix du système de production	[-]	laissé en l'état
système de production pour chauffage après rénovation - Scénario 1	[-]	laissé en l'état
système de production principal pour ECS après rénovation - Scénario 1	[-]	laissé en l'état
Si PAC - Puissance de la PAC	[kW]	0
Si solaire thermique - Puissance du solaire thermique	[kW]	32.3715
agent énergétique chauffage après - Scénario 1	[-]	gaz naturel
puissance à fournir	[W/m2]	50
type de ventilation	[-]	inchangé
type de fenêtres après rénovation	[-]	Bois + alu
type de façade après rénovation	[-]	Isolation crépi
type de stores après rénovation	[-]	stores à lamelles

Tableau 26 : Description du scénario 2 appliqué au 23 avenue Dumas

Scénario 2		
choix du système de production	[-]	Gaz + solaire thermique
système de production pour chauffage après rénovation - Scénario 2	[-]	chaudière à gaz à condensation
système de production pour ECS après rénovation - Scénario 2	[-]	chaudière à gaz à condensation
agent énergétique chauffage après - Scénario 2	[-]	gaz naturel
puissance à fournir	[W/m2]	40
type de ventilation	[-]	simple flux avec RC
type de fenêtres après rénovation	[-]	Bois + alu
type de façade après rénovation	[-]	Isolation crépi
type de stores après rénovation	[-]	stores à lamelles
type de toiture après rénovation	[-]	Accessible avec dalle

Tableau 27 : Description du scénario 3 appliqué au 23 avenue Dumas

Scénario 3		
choix du système de production	[-]	CAD
système de production pour chauffage après rénovation - Scénario 3	[-]	CADIOM
système de production pour ECS après rénovation - Scénario 3	[-]	CAD
agent énergétique chauffage après - Scénario 3	[-]	CAD au gaz
puissance à fournir	[W/m2]	40
type de ventilation	[-]	simple flux avec RC
type de fenêtres après rénovation	[-]	Bois + alu
type de façade après rénovation	[-]	Isolation crépi
type de stores après rénovation	[-]	stores à lamelles
type de toiture après rénovation	[-]	Inaccessible gravier

L'application des données d'entrée à ces trois scénarios permet d'obtenir les résultats suivants.

Tableau 28 : Résultats obtenus aux trois scénarios appliqués au 23 avenue Dumas

			Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Evaluation Energétique					
économie de chaleur - éléments opaques - TOTAL	$\Delta Q_{\text{él. Opaques_TOTAL}}$	[kWh]	-82 621	-92 244	-82 621
économie de chaleur - fenêtres	$\Delta Q_{\text{fenêtre total}}$	[kWh]	-75 140	-75 140	-75 140
économie de chaleur - ventilation	$\Delta Q_{\text{ventilation}}$	[kWh]	-	-8 102.8	-8 102.8
économie de chaleur - eau chaude solaire	$\Delta Q_{\text{ww solaire}}$	[kWh]	-38 846	-38 846	-
économie - changement de système de production	ΔE_{hwwIDC}	[kWh]	-	-66 844	-113 273
Baisse prévisible des consommations de chaleur	ΔE	[kWh]	-263 666	-326 642	-314 320
Calcul de la baisse prévisible des charges					
Baisse prévisible des charges	$\Delta \text{charges}$	[CHF/an]	-18 509	-23 022	-22 157
Calcul de l'augmentation potentielle de loyer					
Hausse de loyer maximale autorisée	Δ_{EL}	[CHF/an]	49 181	53 694	52 829
Chiffrage des travaux					
Chiffrage Enveloppe					
prix fenêtres	prix fenêtres	[CHF]	412 735	412 735	412 735
prix façade	prix façade	[CHF]	498 574	510 626	498 574
prix stores	prix stores	[CHF]	91 057	91 057	91 057
prix toiture	prix toiture	[CHF]	228 608	232 864	148 808
prix échafaudages	prix échafaudages	[CHF]	97 916	97 916	97 916
Total Enveloppe	TOT_ENVELOPPE	[CHF]	1 328 890	1 345 198	1 249 090
Chiffrage système de production de chaleur + distribution					
total distribution verticale	tot_vert.	[CHF]	-	43 162	43 162
total distribution horizontale	tot_hor.	[CHF]	-	174 806	174 806
total système de production chaleur	tot_prod°_chaleur	[CHF]	89 022	114 379	7 942
total production + distribution	TOTAL PROD° + DISTR°	[CHF]	89 022	332 347	225 910
Chiffrage Ventilation					
total ventilation	tot_ventilation	[CHF]	-	103 589	103 589
Total Chiffrage	TOT	[CHF]	1 417 912	1 781 134	1 578 589
Subventions					
Total subventions		[CHF]	346 246	554 940	554 940
Calcul rentabilité					
Valeur actuelle nette	VAN	[CHF]	136 208	51 462	233 425

Plusieurs choses sont observables dans ces résultats : Tout d'abord, le scénario 2, qui voit les performances de son enveloppe les plus améliorées et sa chaudière remplacée par une nouvelle chaudière à gaz à condensation, présente les réductions de consommations d'énergie finale les plus importantes. Vient ensuite le scénario 3 et enfin le scénario 1. Ces résultats sont cohérents car les scénarios 1 et 3 vont moins loin dans l'amélioration des performances de l'enveloppe (respect des exigences minimales), et le scénario 3 remplace la chaudière existante par un raccordement au réseau de chauffage à distance, présentant un meilleur rendement, alors que le scénario 1 ne touche pas au système de production de chaleur.

Les résultats de baisse prévisible des charges sont cohérents avec les résultats de diminution de consommation d'énergie, et cela car les baisses de charges correspondent à l'énergie économisée multipliée par le prix de l'énergie avant travaux, auxquelles sont rajoutées les baisses/hausses de consommation d'électricité pour la ventilation si ce système est rénové. De la même façon, les hausses potentielles de loyer sont calculées, comme cela a déjà été montré, en fonction des baisses prévisibles des charges, donc elles sont ici plus élevées dans le deuxième cas que dans le troisième et que dans le premier.

Ensuite les travaux sont chiffrés selon les calculs présentés plus tôt dans cette étude. Les coûts relatifs aux fenêtres, stores et échafaudages sont similaires dans les trois scénarios car ils sont identiques dans les trois cas. En termes de façade, une façade en crépi a été choisie pour les trois cas mais le scénario 2 présente un coût plus élevé lié à une isolation plus importante. Notons cependant que ce surcoût s'élève à peine à 2.5%. Pour la toiture, les scénarios 1 et 2 sont plus chers que le scénario 3 car, des capteurs solaires étant installés en toiture des deux premiers scénarios, un accès en toiture doit être possible pour l'entretien des installations, ce qui est plus cher à mettre en place qu'une toiture inaccessible. Le surcoût du scénario 2 par rapport au scénario 1 est, comme pour la façade, dû à une épaisseur d'isolation plus importante.

En matière de production et distribution de chaleur, le scénario 1 se limite à l'installation de capteurs solaires thermiques en toiture et présente donc des coûts limités. Dans les scénarios 2 et 3, l'installation et la distribution sont remplacées. Il faut noter que, dans le scénario 3, le raccordement au réseau de chauffage à distance permet de limiter les coûts du changement de système de production à l'installation d'un échangeur. Dans le deuxième scénario, le remplacement de la chaudière augmente sensiblement ces coûts.

En définitive, les coûts des travaux d'amélioration des performances énergétiques du bâtiment sont les plus élevés dans le deuxième scénario, puis dans le troisième scénario, et enfin, le premier scénario présente les coûts les moins élevés. Notons que les coûts nets des travaux pour

le propriétaire correspondent au montant total du chiffrage auquel doit être soustrait le montant des subventions qui peuvent être touchées, et celles-ci sont plus élevées dans le cas où les exigences requises par Minergie sont atteintes (scénario 2 et 3).

Finalement, la rentabilité des projets est évaluée en calculant leur valeur actuelle nette (VAN), dont la formule est, pour rappel, la suivante :

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^T B_t \cdot (1 + a)^{-t} \quad [\text{CHF}]$$

I_0 [CHF] : investissement initial pour la rénovation

B_t [CHF/an] : Bénéfices : hausse des loyers autorisée suite à la rénovation, à l'année t

a [-] : taux d'actualisation

T [ans] : durée de vie technique considérée pour le bâtiment rénové

La VAN consiste à comparer les flux négatifs (investissement initial) et positifs (hausse des loyers sur la durée de vie considérée) et le projet est considéré comme rentable si la VAN est positive. Ici, les trois projets peuvent être considérés comme rentables. Bien qu'il permette les plus grandes économies d'énergie et donc la hausse des loyers la plus élevée, l'investissement initial très important du scénario 2 rend sa VAN plus basse que les autres et le rend ainsi moins attractif. Si on le compare au scénario 1, cela est dû à l'investissement important que représente le remplacement de la chaudière et à la mise en place d'un système de ventilation simple flux avec récupération de chaleur. Il faut noter que seules les économies de consommation de chaleur sont valorisées ici, et elles sont assez limitées dans le cas du changement de la ventilation, mais un meilleur système de ventilation permet surtout d'améliorer le confort des habitants et de limiter les problèmes d'humidité au sein du bâtiment, donc d'en améliorer la durabilité. Le scénario 3, répondant aux critères Minergie et alliant l'amélioration des performances de l'enveloppe et un concept énergétique basé sur une énergie renouvelable, offre la plus grande rentabilité.

Les scénarios tels qu'ils ont été définis imposent un certain nombre de contraintes et ne permettent pour l'instant pas de modéliser la rénovation du bâtiment de l'avenue Dumas telle qu'elle a réellement été faite. La prochaine étape dans l'exploitation de cet outil est de modifier cela de manière à pouvoir modéliser la rénovation réelle de l'avenue Dumas dans un premier temps, puis d'autres projets de rénovation qui ont été réalisés par Losinger-Marazzi et pour lesquels des données sont disponibles, de manière à affiner la fiabilité de l'outil.

4. RECOMMANDATIONS

Les calculs de baisse de consommation d'énergie pour la chaleur qui sont faits dans l'outil correspondent au calcul préconisé par la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges*. Cela permet d'obtenir le montant de baisse prévisible des charges tel qu'il est calculé par le canton, ceci afin de connaître le montant autorisé de hausse des loyers pour pouvoir faire une évaluation de la rentabilité des projets au plus proche de la réalité.

Cependant, il est primordial de souligner que ces calculs sont effectués en utilisant des paramètres standards de modélisation (par exemple : $\theta_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$). Comme cela a été longuement discuté dans la première partie de cette étude, ces paramètres correspondent mal au comportement réel des utilisateurs. Cela fausse les résultats de diminution de consommation. La baisse réelle de consommation est souvent bien moindre que celle escomptée, et les locataires des immeubles rénovés s'en trouvent pénalisés financièrement : la baisse des charges réelles ne compense pas l'augmentation des loyers dans la plupart des cas.

Ce phénomène est décrit dans l'étude COMPARE RENOVE de Jad Khoury⁴⁷ (Figure 31 p. 65) :

⁴⁷ KHOURY, Jad, et al. & Office fédéral de l'énergie, Office cantonal de l'énergie de Genève, Swiss Competence Center for Energy Research FEEB&D, Services industriels de Genève. *COMPARE RENOVE : du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques (écarts de performance, bonnes pratiques et enseignements tirés)*. Genève : Office fédéral de l'énergie, Office cantonal de l'énergie de Genève, Swiss Competence Center for Energy Research FEEB&D, Services industriels de Genève, 2018 ;

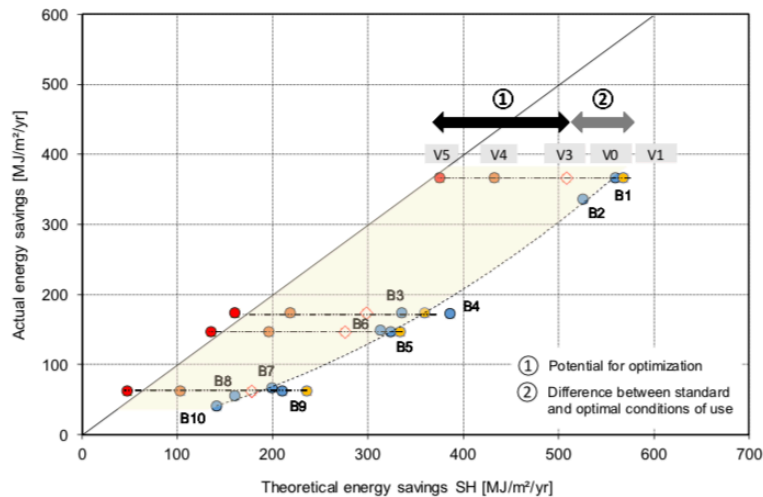


Figure 31 : Décomposition de l'écart de performance dans la rénovation en (1) potentiel d'optimisation et (2) différence entre les conditions d'utilisation standard et optimales

Ce sur graphique décrivant le rapport entre économies d'énergies théoriques et effectives, les scénarios de rénovation V0 à V5 sont décrits de la manière suivante :

- « V0 : scénario de référence selon les conditions standard d'utilisation SIA 380/1
- V1 : scénario utilisant les valeurs réelles pour le taux d'occupation, la consommation électrique annuelle et le facteur de réduction électrique (mais les valeurs normées pour la température et le débit d'air neuf).
- V3 : scénario correspondant à des bâtiments optimisés selon des critères réalistes, soit une température intérieure de 21°C et un débit d'air neuf de 1.1 m³/m²/h (+ valeurs réelles pour le taux d'occupation, le facteur de réduction électrique et la consommation électrique).
- V4-V5 : scénario correspondant aux pratiques actuelles (sans optimisation), soit une température intérieure de 23 ou 24°C et un débit d'air neuf de 1.3 ou 1.5 m³/m²/h (+ valeurs réelles pour le taux d'occupation, le facteur de réduction électrique et la consommation électrique). »

L'écart de performance entre théorique et réel est représenté par la somme des intervalles 1 et 2. Une utilisation optimale des appartements par les locataires permettrait de combler l'écart 1. L'écart de performance restant (n°2) semble à priori difficile à palier si l'on considère une utilisation réaliste des locaux.

Il est donc nécessaire de sensibiliser les locataires aux conditions optimales d'utilisation d'un appartement, et terme de température intérieure et d'aération notamment, et en insistant sur l'impact financier que cela représente pour eux.

CONCLUSION

L'objectif de la première partie de cette étude était d'analyser les résultats obtenus sur un panel de bâtiments ayant subi des rénovations à plus-value énergétique dans le canton de Genève, afin de mieux comprendre les facteurs de réussite d'une rénovation. Cette volonté est née du constat que les performances énergétiques réelles des bâtiments, à la suite de travaux, sont souvent bien inférieures aux performances attendues. Dans les cas étudiés par exemple, les fractions des économies théoriques réalisées varient entre 26 et 68% seulement. Cet intervalle assez vaste sous-entend que certains facteurs entraînent une meilleure réussite des rénovations que d'autres. Tout d'abord, il ressort que plus les prévisions de diminution de l'IDC sont importantes, plus le pourcentage effectivement réalisé de cette diminution est grand. Cela signifie deux choses : si l'état initial du bâtiment est mauvais, de grandes réductions d'IDC peuvent être attendues et la fraction de réussite sera élevée, De plus, il faut favoriser des rénovations globales, touchant aux différents éléments de l'enveloppe ainsi qu'au concept de production de chaleur du bâtiment. Les rénovations partielles qui ont été étudiées montrent de très mauvais résultats.

D'un point de vue économique, il semble qu'il n'y ait pas de lien immédiat entre le montant engagé dans les travaux et les économies de chaleur réalisées. Cependant, il faut privilégier des rénovations globales pour obtenir de meilleurs résultats et maximiser la rentabilisation de la rénovation. Il est également important de considérer l'état initial du bâtiment lors de l'évaluation du potentiel d'un projet : comme il a été dit, plus les performances initiales sont mauvaises plus l'amélioration des performances engendrée par les travaux est élevée. L'état locatif initial a également son importance : si avant les travaux il est inférieur au seuil prévu par la LDTR⁴⁸, l'augmentation de loyer autorisée est supérieure et améliore donc la rentabilisation du projet.

Il ressort nettement que beaucoup de projets ne sont pas rentabilisés, selon le calcul de la valeur actuelle nette réalisé. Ceci est dû en partie à la différence entre performances attendues et réelles, mais il ne faut pas oublier que dans la plupart des cas, les travaux réalisés sont nécessaires pour pouvoir poursuivre l'exploitation du bâtiment. Les travaux étant obligatoires, le propriétaire peut alors profiter ou non de l'occasion pour améliorer les performances

⁴⁸ Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation

énergétiques de son bien (effet d'aubaine). De plus, ce calcul de rentabilité ne prend pas en compte l'augmentation de la valeur foncière du bien liée à l'augmentation de ses performances, la valeur verte, ni ne valorise la hausse du confort de ses habitants.

Enfin, le contexte actuel et les volontés politiques qui l'accompagnent tendent vers un renforcement progressif des lois en faveur de l'efficacité énergétique, cela en passant notamment par une augmentation graduelle du montant de la taxe sur le CO₂. Plus cette taxe augmente, plus les travaux d'amélioration des performances énergétiques d'un bâtiment deviennent attractifs.

Dans la deuxième partie de cette étude, un outil de comparaison et d'évaluation de scénarios de rénovation énergétique est mis en place. Cet outil ne prend en compte que les travaux à plus-value énergétique : il est important de rester attentif à cela lors de l'interprétation des résultats et pour comprendre la différence entre les résultats obtenus en première partie et ceux obtenus grâce à cet outil. Celui-ci met en valeur le fait que les meilleurs résultats économiques sont obtenus lorsqu'un concept global est mis en place (rénovation de l'enveloppe thermique du bâtiment et changement du système de production de la chaleur). Le remplacement du système de production peut sensiblement augmenter l'investissement initial, et le choix de celui-ci doit être étudié avec attention.

Finalement, il est primordial de sensibiliser les locataires à une utilisation optimale de leurs logements. Comme il est discuté dans cette étude, la cause principale des écarts entre les performances attendues et observées est le comportement des occupants lors de l'exploitation du bâtiment. Les technologies et l'état de la technique peuvent être améliorés encore et encore, mais si le comportement humain n'évolue pas vers une utilisation plus responsable des bâtiments, les objectifs fixés, à l'échelle locale (performances attendues du bâtiment) aussi bien que globale (objectifs de la Stratégie Énergétique 2050) ne pourront être atteints.

REFERENCES

- Bogdan Atanasiu & Ilektra Kouloumpi, BPIE, novembre 2013, *Stimuler la rénovation des bâtiments : un aperçu des bonnes pratiques*, BPIE
- Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK), 2014, *Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC)* ;
- Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK) et Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2016, *Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa 2015)*, Office fédéral de l'énergie (OFEN) ;
- Conseil d'état de la République et canton de Genève, 2015, *Loi sur l'énergie (LEn)*, République et canton de Genève ;
- Conseil d'état de la République et canton de Genève, 2018, *Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn)*, République et canton de Genève ;
- Conseil d'état de la République et canton de Genève, 2018, *Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation (LDTR)*, République et canton de Genève ;
- Conseil fédéral de la confédération suisse, 2017, *Stratégie énergétique 2050*, récupéré le 19 avril 2018, www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/energie/strategie-energetique-2050.html
- Dinamic, avril 2013, *La valeur verte des logements d'après les bases notariales BIEN et PERVAL* ;
- Energies et avenir, mars 2015, *la rénovation énergétique des bâtiments d'enseignement – performance et potentiel des systèmes à eau chaude* ;
- EnFK & SuisseEnergie, *Rénovation des bâtiments - Comment réduire de moitié la consommation énergétique dans une maison individuelle grâce à des mesures ciblées* ;
- eREN - rénovation énergétique des bâtiments, *Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment - Rénovation énergétique* ;
- Flourentzos Flourentzou, Samuel Pantet, *Raisons et remèdes de la surconsommation de bâtiments locatifs après rénovation : a. Quinet & R. Crassous, Pour un modèle économique de rénovation énergétique dans le bâtiment* ;

- KHOURY, Jad, et al. & Office fédéral de l'énergie, Office cantonal de l'énergie de Genève, Swiss Competence Center for Energy Research FEEB&D, Services industriels de Genève. *COMPARE RENOVE : du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques (écarts de performance, bonnes pratiques et enseignements tirés)*. Genève : Office fédéral de l'énergie, Office cantonal de l'énergie de Genève, Swiss Competence Center for Energy Research FEEB&D, Services industriels de Genève, 2018 ;
- KHOURY, Jad, HOLLMULLER, Pierre, LACHAL, Bernard Marie. *Energy performance gap in building retrofit: characterization and effect on the energy saving potential*. In: 19. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt». 2016.
- Minergie Suisse Agence Suisse Romande, 2018, *Règlement des labels MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®*, Minergie Suisse ;
- Office cantonal de l'énergie (OCEN), 2013, *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* ;
- Office cantonal de l'énergie (OCEN), 2018, *Flyer de présentation du Programme Bâtiments*, récupéré le 10 janvier 2019, <https://www.ge.ch/document/subventions-efficacite-energetique-flyer-presentation-2018/telecharger> ;
- Office cantonal de l'énergie (OCEN), 2019, *DEGRES-JOURS A GENEVE DEPUIS 1992 (SEUILS A 12/18°C)*, récupéré le 10 janvier 2019, <https://www.ge.ch/document/energie-degres-jour/telecharger> ;
- Office fédéral de la statistique, 2018, *Surface moyenne des logements selon le nombre de pièces, par canton*, récupéré le 10 janvier 2019, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/construction-logement/logements/taille.assetdetail.6286310.html> ;
- Office fédéral de la statistique, 21.06.2018, *Indice suisse des prix de la construction - Évolution des prix de la construction Résultats détaillés*, récupéré le 10 janvier 2019, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/prix/prix-construction/indice-prix-construction.assetdetail.5486550.html> ;
- Office fédéral de l'énergie OFEN et office fédéral de l'environnement OFEV, *Programme Bâtiments*, récupéré le 10 janvier 2019, <https://www.leprogrammebatiments.ch/fr/> ;
- PACER, 1994, *Production d'eau chaude solaire, Dimensionnement, Montage, Mise en service, Entretien*, Office fédérale des questions conjoncturelles ;
- République et canton de Genève, Eco 21 et SIG, 2018, *CRITÈRES DE SUBVENTIONS 2018 POUR LE CANTON DE GENÈVE*, récupéré le 10 janvier 2019, http://www.genergie2050.ch/TABLEAU_SUBVENTIONS_2018.pdf ;
- Salvi and al., *Impact du label Minergie sur la valeur vénale et la valeur locative en Suisse* ;

- SIA Zürich, 2009, *SIA 380/1 :2009 – Bilan thermique détaillé d'un bâtiment non climatisé*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;
- SIA Zürich, 2010, *SIA 2028 – Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;
- SIA Zürich, 2014, *SIA 180 :2014 – Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;
- SIA Zürich, 2014, *SIA 382/1 :2014 – Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;
- SIA Zürich, 2015, *SIA 2024 : 2015 Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;
- SIA Zürich, 2016, *SIA 380/1 :2016 – Besoins de chaleur pour le chauffage*, Société suisse des ingénieurs et des architectes ;
- U. Lehmann & J. Khoury, 2017, *Performance énergétique des bâtiments de logement pour étudiants : études de cas dans le canton de Genève*,;

ANNEXES

ANNEXE I

PROGRAMME DE SUBVENTIONS, CANTON DE GENEVE

1. DIAGNOSTIC

<p>D-01</p> <p>Ecoconseils (SRE ≤ 250 m²) http://ge.ch/energie/thermographie</p>	<p>Ecoconseil forfait à 250.- La demande de subvention doit être effectuée auprès de la commune</p>	<p>La requête ne peut porter que sur des bâtiments dont l'autorisation de construire est entrée en force le 1^{er} janvier 2000 au plus tard. Les prestataires de ces diagnostics doivent être agréés. La subvention n'est accessible que pour le premier diagnostic (et pas pour les mises à jour). L'indice de dépense chaleur (IDC) doit avoir été transmis à l'OCEM à l'établissement du CECB® Plus et figurer dans le rapport. La copie du rapport de CECB® Plus ou d'écoconseil doit être jointe à la demande de paiement. En cas de changement de propriétaire, le département peut mettre à disposition du nouveau propriétaire le diagnostic subventionné. Subvention sur mesure si groupement de bâtiments. NB: en principe, un bâtiment à plusieurs entrées ou un ensemble de même architecture (lotissement ou groupe de bâtiments) est assimilé à un bâtiment unique. Comptage de chaleur par EGID (par allée d'immeuble).</p>
<p>D-02</p> <p>CECB® Plus http://www.cecbs.ch</p>	<p>Habitat jusqu'à 4 logements et petits bâtiments jusqu'à 500 m² de SRE: 750.- Habitat dès 5 logements et autres bâtiments de plus de 500 m² de SRE: 1'500.-</p>	<p>Seules les entreprises non soumises à l'article grand consommateur de la LEn 2 30 peuvent bénéficier de cette incitation financière. L'audit doit être réalisé par une entreprise accréditée par le programme PEIK (cf. kmu.peik.ch).</p>
<p>SIG-éco21-01</p> <p>Audit Optiwatt (PEIK)</p>	<p>75% du coût, maximum 2'500.- (1'500.- par PEIK; 1'000.- par OCEM)</p>	<p>L'incitation financière est réservée aux clients fournis en électricité par SIG et qui ont signé un Contrat de participation Optiwatt SIG-éco21 (cf. contrat sous ww2.sig-ge.ch).</p>
<p>SIG-éco21-02</p> <p>Suivi énergétique par un Gestionnaire Energie Délégué (GED)</p>	<p>50% du coût du suivi énergétique Maximum 60 heures prises en charge sur 3 ans à 135.-/heure (equ. maximum 8'100.-)</p>	

2. ENVELOPPE

Le montant minimal de la subvention pour l'enveloppe doit s'élever à CHF 1'500.-

<p>M-01</p> <p>Toiture (Non cumulable avec M-10 et M-12)</p>	<p>70.-/m²</p>	<p>La requête ne peut porter que sur des bâtiments dont l'autorisation de construire est entrée en force le 1^{er} janvier 2000 au plus tard. Valeur U ≤ 0.20 W/m²K. La valeur U doit être améliorée d'au moins 0,07 W/m²K par les travaux. Les éléments de construction n'atteignent pas la valeur U exigée avant la mesure d'assainissement. Les éléments suivants ne peuvent pas être subventionnés: avant-toits, porte à faux, dalle sur zone non chauffée (zone balcon). Les élargissements, les exhaussements et les surélévations ne donnent pas droit à une subvention. Des exigences allégées sont consenties pour rénover des éléments de construction protégés (sur présentation d'un justificatif certifiant que le bâtiment et l'élément sont protégés) et que les valeurs U exigées ne sont pas réalisables. La cible à atteindre peut aller jusqu'à U ≤ 0,30 W/m²K (seulement si aucune solution technique ne permet d'atteindre de meilleures performances) pour les éléments de construction contre l'extérieur ou jusqu'à 2 m de profondeur sous terre. Si l'assainissement touche la toiture, le projet doit également respecter les dispositions sur le solaire figurant dans la loi sur l'énergie. L2 30 Art. 15 al. 5 et au règlement d'application L2 30.01 Art. 12P. CECB® Plus obligatoire dès 10'000.- de subvention (s'il est impossible d'établir un CECB® pour le type de bâtiment concerné, il faut fournir une analyse sommaire avec recommandations sur la procédure à suivre selon le cahier des charges de l'OFEN).</p>
<p>M-01</p> <p>Murs et sols contre extérieur et/ou enterrés jusqu'à 2 m (Non cumulable avec M-10 et M-12)</p>	<p>70.-/m²</p>	<p>La requête ne peut porter que sur des bâtiments dont l'autorisation de construire est entrée en force le 1^{er} janvier 2000 au plus tard. Valeur U ≤ 0.20 W/m²K. La valeur U doit être améliorée d'au moins 0,07 W/m²K par les travaux. Les éléments de construction n'atteignent pas la valeur U exigée avant la mesure d'assainissement. Les éléments suivants ne peuvent pas être subventionnés: avant-toits, porte à faux, dalle sur zone non chauffée (zone balcon). Les élargissements, les exhaussements et les surélévations ne donnent pas droit à une subvention. Des exigences allégées sont consenties pour rénover des éléments de construction protégés (sur présentation d'un justificatif certifiant que le bâtiment et l'élément sont protégés) et que les valeurs U exigées ne sont pas réalisables. La cible à atteindre peut aller jusqu'à U ≤ 0,30 W/m²K (seulement si aucune solution technique ne permet d'atteindre de meilleures performances) pour les éléments de construction contre l'extérieur ou jusqu'à 2 m de profondeur sous terre. CECB® Plus obligatoire dès 10'000.- de subvention (s'il est impossible d'établir un CECB® Plus pour le type de bâtiment concerné, il faut fournir une analyse sommaire avec recommandations sur la procédure à suivre selon le cahier des charges de l'OFEN).</p>
<p>M-01</p> <p>Murs et sols non-chauffés et enterrés à plus 2 m (Non cumulable avec M-10 et M-12)</p>	<p>40.-/m²</p>	<p>La requête ne peut porter que sur des bâtiments dont l'autorisation de construire est entrée en force le 1^{er} janvier 2000 au plus tard. Valeur U ≤ 0.20 W/m²K. La valeur U doit être améliorée d'au moins 0,07 W/m²K par les travaux. Les éléments de construction n'atteignent pas la valeur U exigée avant la mesure d'assainissement. Les élargissements, les exhaussements et les surélévations ne donnent pas droit à une subvention. CECB® obligatoire dès 10'000.- de subvention (s'il est impossible d'établir un CECB® Plus pour le type de bâtiment concerné, il faut fournir une analyse sommaire avec recommandations sur la procédure à suivre selon le cahier des charges de l'OFEN)</p>
<p>M-14</p> <p>Bonus pour l'efficacité de l'enveloppe du bâtiment (Uniquement à la mesure M-01 et non cumulable avec M-10 et M-12)</p>	<p>+ 20.-/m² de M-01 toiture et murs contre extérieur</p>	<p>Applicable uniquement pour M-01 Toiture et M-01 Murs et sols contre extérieur. Mêmes conditions que M-01. Les fenêtres doivent avoir été assainies et la valeur U verre = 0.7 W/m²K ou U verre = 1.1 W/m²K dans le cas de fenêtres soumises à protection patrimoniale. Au moins 90% des surfaces principales du bâtiment (Toit et Murs) sont isolés conformément à la mesure M-01.</p>

3. INSTALLATIONS TECHNIQUES

Pour les projets de grande puissance (> 100 kW) intégrés dans un périmètre de planification énergétique territoriale selon l'art. 11 al. 2 et 3 LEn, une subvention est décidée et octroyée selon circonstances. Le cas échéant, elle sera calculée sur mesure. Ce type de projets doit obtenir un préavis favorable de l'OCEN avant la dépose de la demande de subvention.

<p>M-05</p> <p>PAC air-eau (Subvention non cumulable avec les mesures M-06 à M-07, M-10, M-12 et M-18)</p>	<p>3'000.- + 400.-/kW (≤ 50 kW) 13'000.- + 200.-/kW (> 50 kW) + Bonus (1^{re} installation d'un système de distribution de chaleur): 3'000.- + 400.-/kW</p>	<p>Seules les pompes à chaleur avec moteur électrique donnent droit à une contribution. L'installation donnant droit à une contribution doit être utilisée comme chauffage principal.</p> <p>Les projets bivalents seront étudiés au cas par cas et le montant de la subvention réduit en fonction des spécificités du projet.</p> <p>L'installation remplace un chauffage fonctionnant au mazout ou au gaz naturel, ou un chauffage électrique fixe à résistance.</p> <p>Le PAC système-module (pompes à chaleur efficaces avec système) doit être installé, pour autant qu'il soit compatible avec la puissance thermique nominale installée.</p> <p>Le label de qualité international (reconnu en Suisse) ou national pour pompes à chaleur doit être fourni (si aucun PAC système-module).</p> <p>La garantie de performance (accompagnant l'offre) de SuisseEnergie doit être fournie (si aucun PAC système-module).</p> <p>A partir de 100 kWh: mesure dans les règles de l'art de la consommation d'électricité et de la production de chaleur.</p> <p>Les pompes à chaleur utilisées comme sources pour les réseaux sont soutenues via la mesure M-18.</p> <p>La puissance maximale subventionnée est de 50 W par m² de surface de référence énergétique.</p> <p>La puissance de la PAC utilisée pour le calcul de la subvention est effectuée aux conditions A-7 / W35.</p>
<p>M-06</p> <p>PAC eau-eau avec forage géothermique*</p> <p>et</p>	<p>3'000.- + 800.-/kW (≤ 50kW) 23'000.- + 400.-/kW (> 50kW) + Bonus (1^{re} installation d'un système de distribution de chaleur): 3'000.- + 400.-/kW</p>	<p>Seules les pompes à chaleur avec moteur électrique donnent droit à une contribution. Installation sans réseau de chauffage (aucune limite de puissance) ou installation avec réseau de chauffage dont la puissance thermique nominale s'élève jusqu'à 200 kWh (les installations avec réseau de chauffage dont la puissance thermique est supérieure à 200 kWh sont encouragées avec la mesure M-18).</p> <p>L'installation doit être utilisée comme chauffage principal.</p> <p>Les projets bivalents seront étudiés au cas par cas et le montant de la subvention réduit en fonction des spécificités du projet.</p> <p>L'installation remplace un chauffage fonctionnant au mazout ou au gaz naturel, ou un chauffage électrique fixe à résistance.</p> <p>Le PAC système-module doit être installé, pour autant qu'il soit compatible avec la puissance thermique nominale installée.</p> <p>Le label de qualité international (reconnu en Suisse) ou national pour pompes à chaleur doit être fourni (si aucun PAC système-module).</p> <p>Pour les sondes géothermiques: label de qualité pour les entreprises de forage de sondes géothermiques.</p> <p>La garantie de performance (accompagnant l'offre) de SuisseEnergie doit être fournie (si aucun PAC système-module).</p> <p>Il ne doit pas y avoir d'antigel (glycol ou autres).</p> <p>La température de départ de la distribution du chauffage est au maximum de 35 °C pour les chauffages de sol et de 50 °C pour les radiateurs (des exceptions peuvent être admises pour les projets couplés à des réseaux thermiques, avec une subvention déterminée de cas en cas).</p> <p>A partir de 100 kWh: mesure dans les règles de l'art de la consommation d'électricité et de la production de chaleur.</p> <p>La puissance maximale subventionnée est de 50 W par m² de surface de référence énergétique.</p> <p>Le dimensionnement de la PAC et des sondes ainsi que le calcul de la subvention sont effectués aux conditions B0 / W35</p>
<p>PAC eau-eau avec source toujours supérieure à 5°C et sans utilisation d'antigel**</p> <p>(Subvention non cumulable avec les mesures M-05, M-07, M-10, M-12 et M-18)</p>	<p>Sur mesure</p>	<p>Conditions spécifiques PAC sol-eau*:</p> <p>Le dimensionnement des sondes géothermiques ne doit pas dépasser 30 W/m (ou bilan < 65 kWh/a si utilisation avec plusieurs flux d'injection et extraction de chaleur).</p> <p>Conditions spécifiques PAC eau-eau**:</p> <p>Source toujours supérieure à 5 °C</p> <p>Ces demandes de soutien doivent obtenir un préavis favorable de l'OCEN avant la dépose de la demande de subvention.</p> <p>L'installation utilise une source de chaleur de meilleure qualité que l'air extérieur (chaleur des eaux souterraines, des eaux de lac, etc.).</p>
<p>M-08</p> <p>Installations solaires thermiques</p>	<p>1'200.- + 500.-/kW</p>	<p>Il s'agit d'une nouvelle installation solaire ou de l'extension d'une installation existante (et non d'un simple remplacement des capteurs solaires) sur des bâtiments existants (et non d'une installation sur une nouvelle construction).</p> <p>Seuls les capteurs ou systèmes combinés mentionnés sur la liste officielle disponible sur le site http://kollektorliste.ch donnent droit à une subvention.</p> <p>Un justificatif de dimensionnement sera exigé si le dimensionnement des capteurs s'écarte des recommandations. La subvention sera alors calculée de cas en cas.</p> <p>La garantie de performance validée (GPV) de Swissolar/SuisseEnergie doit être fournie.</p> <p>Un suivi actif de l'installation selon les prescriptions de Swissolar doit avoir lieu pour les installations dont la puissance thermique nominale des capteurs est supérieure à 20 kW.</p> <p>Les installations de moins de 20 kW doivent être équipées d'un dispositif permettant de contrôler leur bon fonctionnement.</p> <p>Si l'installation solaire thermique sert aussi à chauffer une piscine, la puissance retenue pour le calcul de la subvention des capteurs ne peut pas dépasser 25 W/m² de SRE.</p> <p>Les capteurs à air, les séchoirs à foin, les installations de chauffage de piscines ainsi que les capteurs solaires utilisés comme sources (pompe à chaleur, réseaux, etc.) ne donnent pas droit à une subvention.</p> <p>La puissance minimale pour accéder à la subvention doit être supérieure à 2 kW.</p>

3. INSTALLATIONS TECHNIQUES (suite)

Pour les projets de grande puissance (> 100 kW) intégrés dans un périmètre de planification énergétique territoriale selon l'art. 11 al. 2 et 3 LEn, une subvention est décidée et octroyée selon circonstances. Le cas échéant, elle sera calculée sur mesure. Ce type de projets doit obtenir un préavis favorable de l'OCEM avant la dépose de la demande de subvention.

M-09	Récupération de chaleur sur la ventilation (Uniquement pour la rénovation dans l'habitat) (Subvention non cumulable avec les mesures M-10, M-12 et M-16)	Création d'une nouvelle installation de ventilation double flux avec récupération de chaleur par échangeur (rendement > 70%).	30.-/m ² de SRE concernée	Seuls les appareils avec amenée d'air, évacuation de l'air vicié et récupération de chaleur sont encouragés financièrement. Renouvellement de l'air approprié (p. ex. 0,3 à 0,6). Puissance spécifique de débit ≤ 0,42 Wl (m ³ /h). Les exigences du cahier technique SIA 2023 doivent être respectées. Le nombre d'unités d'habitation doit être indiqué. Rendement minimal de la récupération de chaleur: 70%. Les nouvelles gaines et les ventilateurs en classe A ou B doivent respecter des exigences du MoPEC. Subvention non accessible pour les rénovations autres que l'habitat.
SIG-éco21-03	Eclairage		Jusqu'à 50% de l'investissement Le montant exact se calcule en fonction des économies d'électricité en kWh (*)	Pour les projets portant sur l'assainissement de l'éclairage des communs d'immeubles et parking, seuls les projets mettant un place un système de détection ou interrupteurs peuvent bénéficier de cette incitation financière. Cette condition ne concerne pas les assainissements d'éclairage dans les entreprises.
SIG-éco21-04	Buanderie		Jusqu'à 50% de l'investissement Le montant exact se calcule en fonction des économies d'électricité en kWh (*)	L'incitation financière est valable lors d'un remplacement vers un appareil de haute classe énergétique.
SIG-éco21-05	Circulateur		Jusqu'à 40% de l'investissement Le montant exact se calcule en fonction des économies d'électricité en kWh (**)	Seules les pompes de circulation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire peuvent bénéficier de cette incitation financière. Les pompes de circulation pour le chauffage doivent avoir un IEE < 0,20 pour être éligibles (condition du programme ProKilowatt). La règle du pour mille entre la puissance électrique du circulateur et la puissance thermique distribuée doit être respectée. Le financement de ce programme vient, en grande partie, du programme de soutien ProKilowatt.
SIG-éco21-06	Ventilation		Jusqu'à 50% de l'investissement Le montant exact se calcule en fonction des économies i) d'électricité en kWh et ii) des gains d'émissions équivalent CO ₂ (**)	Seuls les projets qui nous transmettent le formulaire ventilation en lien avec l'Art. 12.G.al.3 de la REN 2.30.01. contresigné par l'OCEM peuvent bénéficier de l'incitation financière. Le financement de ce programme vient, en grande partie, du programme de soutien ProKilowatt.
SIG-éco21-07	Autres installations techniques		Jusqu'à 50% de l'investissement Le montant exact se calcule en fonction des économies d'électricité en kWh et/ou des gains d'émissions équivalent CO ₂ (*)	Tous les projets sont évalués par SIG-éco21. Le porteur de projet est tenu informé de la décision.
SIG-éco21-08	Optimisation des chaufferies (Contrat d'Optimisation énergétique)		Programme autofinancé par les économies d'énergie thermique.	Le propriétaire ou son représentant doit signer un Contrat d'Optimisation Énergétique avec SIG (cf. contrat sous ww2.sig-ge.ch). L'audit de la chaufferie doit faire état d'un potentiel d'économie d'énergie. Un compteur d'énergie pour la production de chaleur et d'eau chaude sanitaire (gaz, mazout, CAD, etc.) doit être installé.
SIG-éco21-09	Eau chaude renouvelable (chauffe-eau thermodynamique)		1'000.- (450.- de ProKilowatt et 550.- de SIG-éco21)	Seuls les projets respectant les conditions d'éligibilité de ProKilowatt et SIG-éco21 peuvent bénéficier de cette incitation financière. - Chauffe-eau thermodynamique certifié GSP (cf. www.fws.ch); - Formulaire Chauffe-eau PAC à remplir (cf. formulaire sous ww2.sig-ge.ch).
SIG-éco21-10	Équilibrage hydraulique		2.-/m ² (SRE) jusqu'à 50% de l'investissement	Les porteurs de projets ont l'obligation de remettre à, et de faire valider par, SIG-éco21, les éléments ci-dessous afin de bénéficier de l'incitation financière: - Chauffage par radiateur, le rapport SIG-éco21 des calculs d'équilibrage réalisés avec le simulateur en ligne SIG-éco21 (https://equilibragehydraulique.eco21.ch/) - Autres types de chauffage (sol, plafond rayonnant, etc.): rapport avec mention des réglages sur chaque émetteur (le rapport doit également contenir l'étude de calorimétrie du bâtiment). L'équilibrage hydraulique doit être couplé avec un Contrat d'Optimisation Énergétique (cf. point SIG-éco21-08). Selon la taille de l'immeuble, SIG-éco21 se réserve le droit de ne pas signer de Contrat d'Optimisation Énergétique. En cas de signature d'un Contrat d'Optimisation Énergétique (cf. point SIG-éco21-08), le propriétaire peut bénéficier d'un financement de tout ou partie des coûts de main d'œuvre pour les calculs d'équilibrage et de la réalisation des réglages. Le financement exclut la partie d'investissement pour tout type de matériel. Le remboursement du financement se fait sur les économies d'énergie thermique. L'équilibrage hydraulique doit être réalisé au niveau des émetteurs de chaleur et sur tout le bâtiment pour pouvoir bénéficier de l'incitation financière. Le système d'équilibrage doit être fait sur une vanne à double réglage, ou jugé équivalent par SIG-éco21.

4. CERTIFICATION

M-10	Amélioration de la classe CECB® pour l'enveloppe et pour l'efficacité énergétique globale (Non cumulable avec M-01 à M-09 et M-12)	Maison individuelle < 250 m ²	Amélioration + 2 classes 75.-/m ² de SRE + 3 classes 115.-/m ² de SRE + 4 classes 150.-/m ² de SRE + 5 classes 195.-/m ² de SRE + 6 classes 235.-/m ² de SRE	La requête ne peut porter que sur des bâtiments dont l'autorisation de construire est entrée en force le 1 ^{er} janvier 2000 au plus tard. Une contribution ne peut être octroyée que pour les bâtiments pour lesquels il est possible d'établir un certificat CECB® Plus.
		Immeuble collectif	Amélioration + 2 classes 45.-/m ² de SRE + 3 classes 70.-/m ² de SRE + 4 classes 90.-/m ² de SRE + 5 classes 105.-/m ² de SRE + 6 classes 135.-/m ² de SRE	Le CECB® contient deux étiquettes énergie: une pour l'enveloppe du bâtiment et une pour l'efficacité énergétique globale. Des deux étiquettes énergie, celle qui a la plus faible amélioration définit le montant octroyé (p.ex. dans le cas d'une amélioration de 3 classes pour l'enveloppe du bâtiment et d'une amélioration de 4 classes pour l'efficacité énergétique globale -> le montant octroyé sera de 115.-/m ² SRE pour une maison individuelle < 250m ²). Le certificat CECB® Plus doit être fourni avant le début des travaux.
		Bâtiment non habitat	Amélioration + 2 classes 30.-/m ² de SRE + 3 classes 45.-/m ² de SRE + 4 classes 60.-/m ² de SRE + 5 classes 75.-/m ² de SRE + 6 classes 95.-/m ² de SRE	Le versement de la contribution a lieu sur présentation du certificat CECB® (mis à jour) après la fin des travaux (jusqu'à maximum trois ans après remise du formulaire de demande de contribution).

4. CERTIFICATION (suite)

M-12		Habitat individuel < 250 m ²	150.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE	<p>Le certificat provisoire (Minergie ou Minergie-P) ou l'autorisation de construire (HPE ou THPE) doit être joint au dossier de requête en subvention.</p> <p>La subvention sera payée sur présentation du label (Minergie ou Minergie-P) ou du certificat (HPE ou THPE) définitif.</p> <p>Sont acceptées les certifications supplémentaires Minergie-A.</p> <p>La certification supplémentaire «Eco» donne droit au bonus.</p> <p>La certification Minergie A et/ou Minergie ECO est subventionnée seulement si Minergie ou Minergie-P est aussi respecté -> La subvention peut être ajustée en conséquence.</p>
Rénovation Minergie ou HPE <i>(Non cumulable avec M-01 à M-10)</i>	Habitat individuel > 250 m ²	15'000.- + 90.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE		
	Habitat collectif	90.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE		
	Autre bâtiment	60.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE		
	Rénovation Minergie-P ou THPE <i>(Non cumulable avec M-01 à M-10)</i>	Habitat individuel < 250 m ²	235.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE	
Habitat individuel > 250 m ²		36'250.- + 90.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² SRE		
Habitat collectif		130.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE		
Autre bâtiment		90.-/m ² de SRE concernée Bonus «Eco» 10.-/m ² de SRE		
M-16		Habitat individuel < 250 m ²	75.-/m ² de SRE concernée Bonus «Eco» 5.-/m ² de SRE	<p>Le certificat provisoire Minergie-P ou l'autorisation de construire THPE doit être joint au dossier de requête en subvention.</p> <p>La subvention sera payée sur présentation du label Minergie-P ou du certificat THPE définitif.</p> <p>Sont acceptées les certifications supplémentaires Minergie-A.</p> <p>La certification supplémentaire «Eco» donne droit au bonus.</p>
Construction neuve Minergie-P ou THPE <i>(Non cumulable avec d'autres mesures)</i>	Habitat individuel > 250 m ²	8'750.- + 40.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 5.-/m ² de SRE		
	Habitat collectif	40.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 5.-/m ² de SRE		
	Autre bâtiment	30.-/m ² de SRE Bonus «Eco» 5.-/m ² de SRE		
SIG-éco21-11		50% du coût de la certification ISO 50 001 Maximum 10'000.-		<p>L'incitation financière est réservée aux clients fournis en électricité par SIG et qui ont signé la Charte Vision Negawatt SIG-éco21 (cf. contrat sous ww2.sig-ge.ch).</p>
ISO 50 001				

5. INFRASTRUCTURES

«Financement à double M-07/M-18»: pour un même réseau de chaleur, le canton verse des contributions à la fois au maître d'ouvrage dont le bâtiment doit être raccordé (M-07) et à l'exploitant du réseau de chauffage (M-18).

Est considéré réseau de chaleur une installation comprenant une chaufferie fournissant de la chaleur à plusieurs clients par l'intermédiaire de canalisations de transport de chaleur.

La distribution de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment ou entre plusieurs bâtiments de la même entité n'est pas considérée comme un réseau de chaleur à distance.

Sont considérées comme renouvelables les énergies dont la disponibilité ne diminue pas lorsqu'on les utilise: il s'agit essentiellement de l'énergie solaire, de l'énergie géothermique sans usage de pompes à chaleur, de la valorisation de la biomasse et de rejets de chaleur inutilisables autrement.

M-07	Raccordement d'un bâtiment existant à un réseau de chaleur (Subvention non cumulable avec les mesures M-05, M-06, M-10 et M-12)	4'000.-+100.-/kW Maximum: 40'000.- + Bonus (1 ^{re} installation d'un système distributions de chaleur): 3'000.- + 400.-/kW	Ces demandes de soutien doivent obtenir un préavis favorable de l'OCEN avant le dépôt de la demande de subvention. Le raccordement remplace un chauffage fonctionnant au mazout ou au gaz naturel, ou un chauffage électrique fixe à résistance. La chaleur supplémentaire distribuée est utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (la chaleur industrielle ne donne pas droit à une contribution). La distribution de chaleur s'effectue dans des bâtiments existants (la distribution de chaleur dans les nouvelles constructions ne donne droit à aucune contribution). Le raccordement aux réseaux fossiles ou au bénéfice de conventions CO ₂ , ainsi que CADIOM, CAD Lignon, CAD Charmilles, CAD Vieuxseux, SIG CAD Artisans, SIG CAD Fr. Lehmann, SIG CAD Tourelles, ne sont pas subventionnés (liste non exhaustive). La chaleur fournie provient au moins à 50% d'énergies renouvelables ou de rejets thermiques. Si le dimensionnement du raccordement dépasse 50 Wth/m ² de SRE, la subvention peut être réévaluée.
M-18 avec financement à double M-07	Nouvelle construction/extension du réseau de chaleur (au bénéfice de bâtiments existants) Nouvelle construction/extension de l'installation de production de chaleur du réseau de chaleur (au bénéfice de bâtiments existants) (Subvention non cumulable avec les mesures M-05, M-06, M-10 et M-12)	40.-/(MWh/a) * part de renouvelable 130.-/(MWh/a) * part de renouvelable	Ces demandes de soutien doivent obtenir un préavis favorable de l'OCEN avant le dépôt de la demande de subvention. La chaleur fournie provient au moins à 50% d'énergies renouvelables ou de rejets thermiques inutilisables autrement. Seuls les réseaux ne faisant pas partie de programmes de rachat de CO ₂ sont éligibles. La chaleur fournie par le réseau remplace un chauffage fonctionnant au mazout ou au gaz naturel, ou un chauffage électrique fixe à résistance. La chaleur supplémentaire distribuée est utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (la chaleur industrielle ne donne pas droit à une contribution). La distribution de chaleur s'effectue dans des bâtiments existants (la distribution de chaleur dans les nouvelles constructions ne donne droit à aucune contribution).
M-18 sans financement à double	Nouvelle construction/extension du réseau de chaleur (au bénéfice de bâtiments existants) Nouvelle construction/extension de l'installation de production de chaleur (au bénéfice de bâtiments existants) (Subvention non cumulable avec les mesures M-05, M-06, M-10 et M-12)	150.-/(MWh/a) * part de renouvelable 130.-/(MWh/a) * part de renouvelable	Le nouveau réseau/l'extension du réseau ou la nouvelle installation/l'extension de l'installation de production de chaleur engendre la distribution d'un supplément de chaleur issue des énergies renouvelables ou des rejets thermiques par rapport à la situation initiale, c'est-à-dire avant modification (le seul remplacement d'une installation, sans extension, ne donne pas droit à une contribution). Si le dimensionnement du raccordement dépasse 50 Wth/m ² de SRE, la subvention peut être réévaluée. L'octroi d'une subvention supérieure à 500'000.- peut être différé ou réévalué en fonction du budget cantonal à disposition Les exploitants du réseau de chaleur mettent à disposition du canton toutes les données nécessaires sur simple demande.

6. PROJETS STRATÉGIQUES

P-01	Projets stratégiques (Non cumulable avec d'autres mesures)	Sur mesure	<p>Ces demandes de soutien doivent obtenir un préavis favorable de l'OCEN avant la dépose de la demande de subvention.</p> <p>La demande doit être traitée en collaboration entre l'OCEN et le demandeur.</p> <p>Sont concernés tous les projets pouvant justifier une diminution des émissions de CO₂ qui ne sont pas subventionnés par le Programme Bâtiments ni par d'autres organismes.</p> <p>Ainsi que les projets d'activité d'information, de conseil et de formation visant une réduction des émissions de CO₂ des bâtiments, y compris une diminution de la consommation d'électricité durant les mois d'hiver.</p>
------	---	------------	---

7. FORMATIONS, INFORMATION ET CONSEIL

Les subventions cantonales ne peuvent être attribuées qu'aux résidents genevois ou professionnels exerçant sur le canton de Genève.
Les subventions pour la formation sont axées sur les domaines prioritaires de la politique énergétique genevoise et fédérale.

F-01	Cours de formation professionnelle (subventions pour les formations)	Sur mesure	<p>Le contenu du cours de formation doit être élaboré en collaboration avec l'OCEN et validé par ce dernier.</p> <p>Le plan financier du programme doit être fourni à l'appui de la demande de subvention.</p> <p>Les demandes de subventions doivent impérativement être validées avant le début du premier cours.</p>
F-02	Formation continue (subventions pour les personnes formées)	jusqu'à 50% du coût de la formation	<p>Les demandes de subventions doivent impérativement être validées avant la première formation.</p> <p>Le paiement de la subvention ne peut intervenir que sur présentation de l'attestation délivrée par le formateur.</p> <p>Les formations soutenues par le canton sont mentionnées sur le site de l'OCEN.</p> <p>D'autres demandes de soutien peuvent être formulées. La forme et les montants peuvent être adaptés de cas en cas.</p> <p>Liste des soutiens disponibles: http://ge.ch/energie/subventions-energie</p>
F-03	Information et conseil	Sur mesure	<p>L'ordre du jour et le contenu des séances de conseil et/ou information, doivent être élaborés en collaboration avec l'OCEN et validés par ce dernier.</p> <p>Le plan financier du programme doit être fourni à l'appui de la demande de subvention.</p> <p>Les demandes de subvention doivent impérativement être validées avant le début de l'événement.</p>

8. DEUX ROUES ÉLECTRIQUES

V-01	Deux roues (et autres cycles selon OFROU) électriques	<p>VAE ou kit VAE neuf: 250.-</p> <p>Rachat de batteries: 100.-</p> <p>La demande de subvention doit être effectuée auprès de la commune</p>	<p>Deux roues (et autres cycles selon OFROU) électriques.</p> <p>Vélos à assistance électrique - VAE (et tout autre cycle avec position assise, selon OFROU).</p> <p>Cycle et bénéficiaire de la subvention autorisés sur route.</p> <p>Valable pour les personnes morales ou physiques domiciliées sur la commune et pour leur usage propre. En cas de doute, arbitrage par l'office cantonal de l'énergie.</p> <p>Versé par la commune de résidence et remboursé à la commune.</p> <p>Au maximum 1 remboursement par personne physique et par tranche de 3 ans.</p> <p>Pas de subvention en cas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'achat de vélo ou kit d'occasion (mais ok pour première vente d'un modèle de démonstration du magasin) ou - de reprise/échange d'un modèle ne convenant pas (pas de 2^e subvention). <p>Le montant de la subvention se monte au maximum à 50% des coûts.</p>
------	---	--	---

CONDITIONS GÉNÉRALES DE SUBVENTIONNEMENT

Une demande de subvention par numéro «EGID» (identificateur fédéral par bâtiment) et par adresse postale est exigée.

Seuls les éléments du bâtiment déjà chauffés à l'état initial donnent droit à une subvention (excepté mesures F-01 et V-01).

Les subventions ne sont versées qu'au propriétaire du bâtiment ou à son représentant au bénéfice d'une procuration valable.

Les subventions sont accordées pour des objets situés sur le territoire du canton de Genève, propriété de toute personne physique, morale, établissement de droit public autonome, commune ou ensemble de communes. L'Etat de Genève, la Confédération ou un propriétaire exempté de la taxe sur le CO₂ ne peut pas bénéficier de subventions.

Les mesures relatives à des bâtiments publics ou des installations publiques pouvant être influencées directement par le Conseil d'Etat ou par le parlement du canton par le biais d'attribution de crédits (p.ex. crédit d'investissement) ne donnent pas droit à une contribution.

Les mesures des institutions (établissements de droit public, sociétés anonymes, associations, fondations, etc.) auxquelles les cantons participent financièrement en leur accordant un budget global et sur lesquelles le Conseil d'Etat ou le parlement du canton n'ont ainsi aucune influence directe donnent droit à une contribution.

Les travaux doivent être effectués dans les règles de l'art et le respect des dispositions légales.

L'autorité compétente se réserve le droit de procéder en tout temps à des contrôles des chantiers, des installations techniques, des véhicules et des objets pour lesquels une subvention est octroyée.

Le requérant s'engage à fournir à l'office cantonal de l'énergie, sur demande, les relevés d'exploitation (de l'énergie consommée et produite) durant les cinq premières années de service.

Les bailleurs s'engagent à répercuter sur les locataires la réduction des coûts immobiliers obtenue grâce aux contributions.

Les dossiers sont traités dans l'ordre d'arrivée des requêtes (requêtes complètes).

Les décisions d'octroi de subventions sont prises dans la limite du budget disponible.

Seules les demandes complètes sont traitées, c'est-à-dire celles qui comprennent un formulaire de demande dûment rempli ainsi que toutes les pièces nécessaires à l'examen du dossier (plans, calcul, etc.).

Une modification du projet doit être annoncée et peut entraîner une réduction du montant de la subvention ou son refus si le projet ne répond plus aux conditions d'octroi de la subvention.

Le propriétaire est tenu d'obtenir toutes les autorisations nécessaires pour la réalisation des travaux (p.ex. les autorisations de construire ou les autorisations énergétiques).

La requête doit être déposée avant le début des travaux qui font l'objet de la demande de subvention.

Toute modification du projet doit être signalée par écrit au DALE, office cantonal de l'énergie, avant le début des travaux.

Les requêtes concernant les objets non conformes aux normes énergétiques en vigueur lors de l'autorisation de construire (ou de l'autorisation énergétique) ne sont, en règle générale, pas subventionnées.

La subvention ne constitue pas un droit pour celui qui la sollicite

Le montant de la subvention ne peut pas dépasser 50% du coût des travaux en lien avec la demande de subvention.

Le versement de la subvention ne pourra pas être effectué pour des travaux non autorisés.

Les travaux doivent avoir été réalisés dans les 24 mois à compter de l'entrée en force de la décision d'octroi de subvention.

La déclaration d'achèvement des travaux (mesures D-01, D-02, P-01, F-01 à F-03 et V-01) ou le formulaire d'achèvement des travaux (autres mesures), ainsi que les documents à fournir, doivent être fournis par le requérant dans le même délai (ou par les SIG pour les demandes de subventions effectuées via éco21).

En cas d'exception motivée, une prolongation (maximum 6 mois en principe) peut être demandée par écrit avant l'échéance du délai de 24 mois.

CONDITIONS GÉNÉRALES D'INCITATIONS FINANCIÈRES SIG-ÉCO21

Les éléments ci-dessous sont en sus des éléments indiqués dans le tableau des subventions OCEN/SIG-éco21.

Le lieu des travaux est sis sur le canton de Genève.

Les incitations financières ne sont versées qu'au propriétaire du bâtiment ou des installations (investisseur) ou à son représentant au bénéfice d'une procuration valable.

Le requérant autorise SIG-éco21 à consulter, ou s'engage à lui fournir, sur demande, les relevés d'exploitation (de l'énergie consommée et produite) durant les cinq premières années de service.

SIG-éco21 se réserve le droit de procéder en tout temps à des contrôles des chantiers, des installations techniques, des véhicules et des objets pour lesquels une incitation financière est octroyée, et cela jusqu'à 24 mois après la fin des travaux.

Les demandes d'incitation financières SIG-éco21 ne seront traitées que si elles ont été réalisées avec les outils en ligne prévus à cet effet (cf. ww2.sig-ge.ch) et dont le projet fait l'objet d'une demande de validation. C'est-à-dire celles qui ont été dûment remplies (i.e. comprenant toutes les pièces nécessaires à l'examen du dossier) et dont la demande de validation nous parvient avant le début des travaux.

Une modification du projet doit être annoncée et peut entraîner une réduction du montant de l'incitation financière SIG-éco21 voire son refus si le projet ne répond plus aux conditions d'octroi de l'incitation financière.

Le montant de l'incitation financière SIG-éco21 ne peut pas dépasser 40% du coût des travaux (pour les mesures SIG-éco21-05) et 50% du coût des travaux pour les autres mesures en lien avec la demande d'incitation financière SIG-éco21.

Le versement de l'incitation financière ne sera libéré au porteur de projet qu'après la fin de travaux et après validation des factures justifiant les travaux.

Les incitations financières ne sont octroyées que pour les travaux réalisés sur des installations techniques ou bâtiments existants (p.ex. les bâtiments neufs ne sont pas éligibles).

(*) Montant exact calculé avec le simulateur éco21: <https://outils.eco21.ch>

(**) Montant exact calculé avec le simulateur éco21: <https://equilibragehydraulique.eco21.ch/>

Toute la documentation sur les incitations financières SIG-éco21, ainsi que les différents contrats mentionnés ci-dessus se trouvent sur le site: ww2.sig-ge.ch

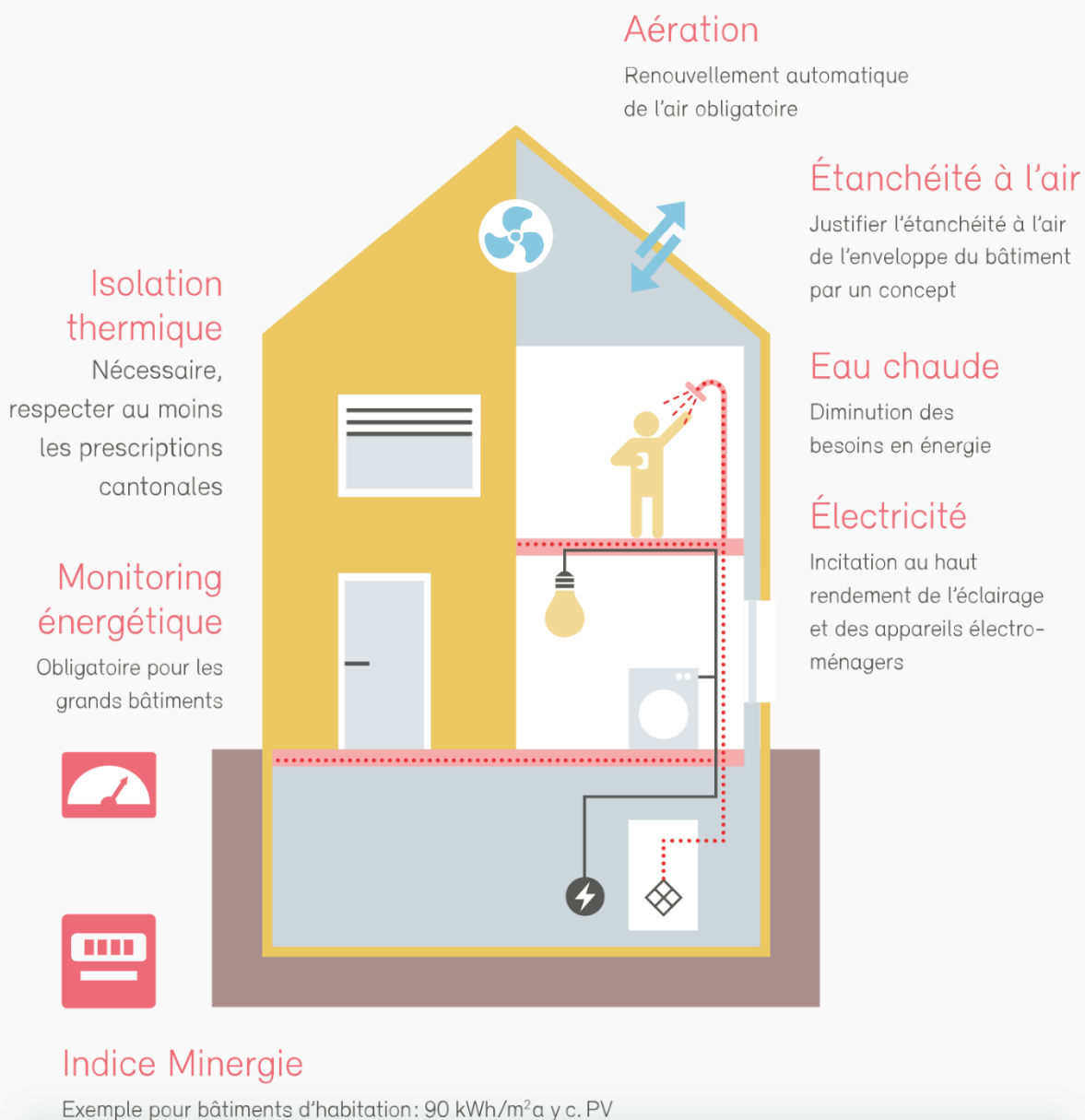
ANNEXE II

LE PROGRAMME MINERGIE

Minergie est un label suisse qui évalue principalement l'efficacité énergétique et le confort d'un bâtiment. Ce label encourage une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment, un approvisionnement énergétique hautement efficace basé sur les sources d'énergies renouvelables et un renouvellement contrôlé de l'air. Les différents labels Minergie sont présentés ci-dessous.

La maison Minergie

(exemple rénovation, habitation)



(exemple rénovation, habitation)



Exemple pour bâtiments d'habitation: 80 kWh/m²a y c. PV
(respect de l'indice énergétique partiel pour
les besoins de chaleur selon MoPEC 2014)

La maison Minergie-A

(exemple rénovation, habitation)

Photovoltaïque

Production annuelle couvrant les besoins en énergie pour l'exploitation avec optimisation de la propre consommation

Aération

Renouvellement automatique de l'air obligatoire

Étanchéité à l'air

Contrôle de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment

Isolation thermique

Nécessaire, respecter au moins les prescriptions cantonales

Eau chaude

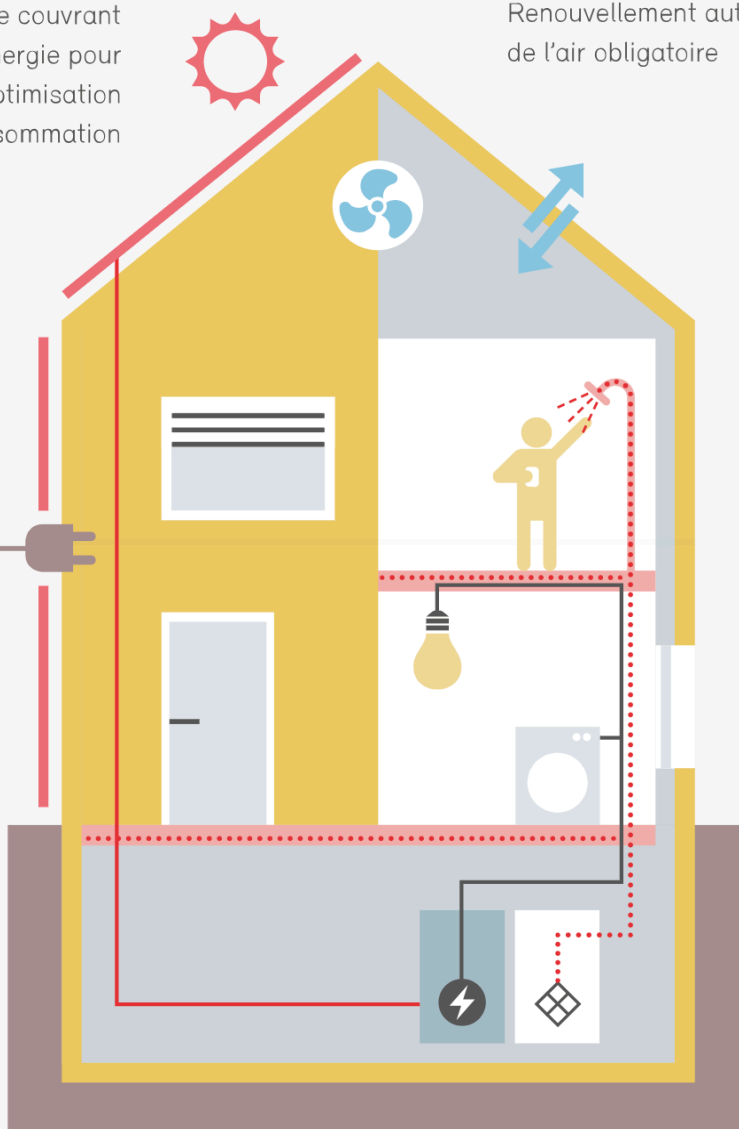
Diminution des besoins en énergie

Monitoring énergétique

Pour tous les bâtiments

Électricité

Incitation au haut rendement de l'éclairage et des appareils électroménagers



Indice Minergie

Exemple pour bâtiments d'habitation: 35 kWh/m²a y c. PV

Les exigences en termes de besoins énergétiques de ces trois labels sont reprises dans le tableau suivant, extrait du *Règlement des labels MINERGIE / MINERGIE-P / MINERGIE-A, version 2017.3*. Des informations plus détaillées sur ces labels peuvent être trouvées dans ce document.

Tableau 6: Exigences relatives à l'indice Minergie des besoins énergétiques globaux pondérés de l'énergie finale, en kWh/(m²an).

¹Valeurs fixes uniquement pour le tertiaire dont la surface de référence énergétique est inférieure à 250 m² et les rénovations sans remplacement de l'éclairage. Si tel n'est pas le cas, calcul comprenant la valeur limite Minergie spécifique au projet selon SIA 387/4 (resp. temporairement SIA 380/4).

²Sans froid industriel, stipulé sous forme d'exigence spéciale.

Catégories		Minergie		Minergie-P		Minergie-A
Selon SIA 380/1:2009		Nouvelles constructions	Rénovation	Nouvelles constructions	Rénovation	Nouvelle construction et rénovation
I	Habitat collectif ¹	55	90	50	80	35
II	Maisons individuelles	55	90	50	80	35
III	Administration ²	80	120	75	115	35
IV	Écoles ²	45	85	40	75	20
V	Commerces ^{2,3}	120	140	110	130	40
VI	Restaurants ²	100	130	90	120	40
VII	Lieux de rassemblement ²	55	85	45	75	25
VIII	Hôpitaux ²	110	140	100	130	50
IX	Industries ²	80	130	70	120	30
X	Dépôts ²	55	70	45	60	25
XI	Installations sportives ²	55	70	45	60	25

¹Sur la base d'une SRE moyenne de 125 m² par unité d'habitation.

²Valeurs fixes uniquement pour le tertiaire dont la surface de référence énergétique est inférieure à 250 m² et les rénovations sans remplacement de l'éclairage. Si tel n'est pas le cas, calcul comprenant la valeur limite Minergie spécifique au projet selon la norme SIA 387/4 ou la norme SIA 380/4.

³Sans froid industriel, pour lequel il existe des exigences spéciales.

ANNEXE III

OBLIGATIONS LEGALES EN TERMES DE TRANSMISSION THERMIQUE U

Les exigences légales minimales que doit respecter un bâtiment soumis à une rénovation sont déterminés dans le *Règlement d'application de la loi sur l'énergie* (REn) du canton de Genève. Ce règlement définit le contexte de la rénovation (*Art. 12D. alinéa 3 - Prescriptions énergétiques*) :

« Il y a rénovation au sens de la loi lorsque des constructions ou des éléments de constructions sont touchés par des travaux qui modifient la performance énergétique du bâtiment. Sont notamment des travaux de rénovation les travaux d'isolation de l'enveloppe du bâtiment tels qu'isolation de la toiture, des façades, des planchers et le remplacement des fenêtres. Il y a rénovation d'une toiture au sens de l'article 15, alinéa 5, de la loi lors de la réfection de l'ensemble du complexe d'une toiture comprenant notamment la sous-toiture et son isolation. »

Ce règlement donne également les exigences à respecter pour l'isolation thermique du bâtiment (*Art. 12E. Prescriptions en matière d'isolation thermique et de protection thermique estivale*) :

« 1. En matière d'isolation thermique et de protection thermique estivale des bâtiments, les normes SIA 180, SIA 380/1 et SIA 382/1 sont respectées.

2. L'isolation thermique des chauffe-eaux ainsi que celle des accumulateurs d'eau chaude sanitaire et de chaleur respecte les épaisseurs minimales indiquées dans l'annexe au présent règlement.

3. Les canaux d'aération, les tuyaux ainsi que les appareils de ventilation et de climatisation sont isolés thermiquement en fonction des conditions d'exploitation et conformément aux valeurs limites mentionnées dans l'annexe au présent règlement. Les épaisseurs d'isolation peuvent être réduites notamment pour les intersections ou traversées de murs ou de dalles, les conduites peu utilisées dont les clapets se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe thermique ou encore en cas de problèmes d'espaces lors du remplacement ou de l'assainissement d'installations.

4. Les nouvelles installations et les installations mises à neuf de distribution et d'émission de chaleur sont entièrement isolées contre les pertes thermiques, conformément aux exigences figurant dans l'annexe au présent règlement. Cette règle s'applique à la robinetterie, aux pompes ainsi qu'aux conduites

a) de distribution de chaleur dans des locaux non chauffés et à l'extérieur ;

b) d'eau chaude sanitaire dans des locaux non chauffés et à l'extérieur, excepté les conduites alimentant, sans circulation ni ruban chauffant, des points de soutirage isolés ;

c) de circulation d'eau chaude sanitaire ou conduites d'eau chaude sanitaire équipées d'un ruban chauffant dans des locaux chauffés ;

d) d'eau chaude sanitaire allant de l'accumulateur à la nourrice incluse.

L'isolation thermique peut être moins épaisse notamment en cas d'intersections ou de traversées de murs et de dalles ou lorsque les températures de départ n'excèdent pas 30°C, ainsi que pour la robinetterie, les pompes, etc. Les épaisseurs indiquées sont valables pour des températures d'exploitation allant jusqu'à 90°C. Si des températures d'exploitation plus élevées sont nécessaires, l'isolation thermique est augmentée dans les proportions qui s'imposent.

5. Les conduites de distribution de chaleur enterrées sont isolées de façon à ce que les valeurs limites de transmission thermique indiquées dans l'annexe au présent règlement ne soient pas dépassées.

6. Lors du remplacement d'une chaudière ou d'un chauffe-eau, les conduites accessibles sont adaptées aux exigences indiquées à l'alinéa 3, dans la mesure où la place à disposition le permet.

7. En application de l'article 14, alinéa 2, de la loi, lorsqu'il est vraisemblable que des locaux neufs ou rénovés devront être climatisés ultérieurement, les exigences à respecter en matière d'isolation et de protection thermique estivale sont celles prévues pour les locaux climatisés par la norme SIA 382/1. Pour le surplus, le département peut exiger, au cas par cas, la prise de mesures proportionnées permettant l'intégration future d'installations de climatisation avec une plus grande efficacité énergétique. »

La SIA 380/1, éd. 2016, citée dans cet article fournir les valeurs limites suivantes pour les coefficients de transmission thermique des différents éléments composant l'enveloppe dans le cas d'une rénovation (SIA 380/1, éd. 2016, tableau 3 p. 21) :

Tableau 3 Valeurs limites des coefficients de transmission thermique pour les transformations et les changements d'affectation (température intérieure de 20 °C)

éléments d'enveloppe contre éléments de construction	Valeurs limites $U_{li, re}$ en W/(m ² ·K)	
	l'extérieur ou enterré à moins de 2 m	locaux non chauffés ou enterrés à plus de 2 m
éléments opaques (toit, plafond, mur, sol)	0,25	0,28
fenêtres, portes-fenêtres	1,0	1,3
portes	1,2	1,5
portes supérieures à 6 m ² (selon SIA 343)	1,7	2,0
caissons de store	0,50	0,50

Les valeurs limites pour les transformations ne s'appliquent que pour les éléments de construction touchés par une transformation ou le changement d'affectation.

La SIA 180 ajoute l'exigence supplémentaire d'un $U_{max} = 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour la toiture (SIA 180, éd. 2014, 5.2.2.1) :

« 5.2.2.1 – Conditions générales :

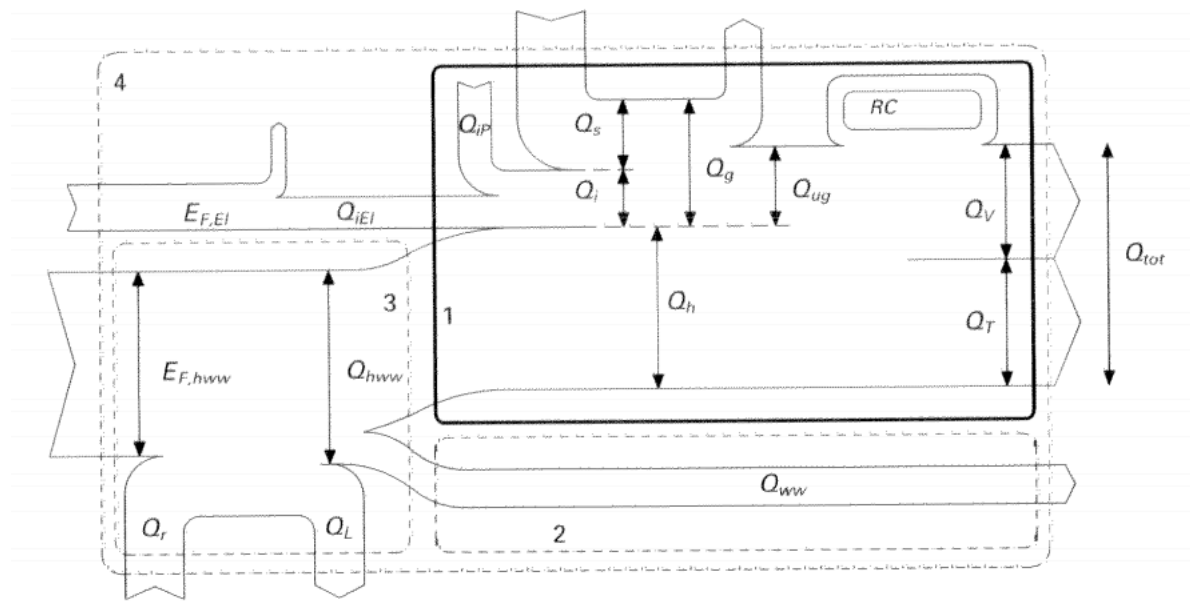
Tous les locaux doivent remplir les conditions suivantes :

- les ouvertures en toiture transparentes ou translucides sont munies de protections solaires et ont une surface inférieure à 5% de la surface de plancher nette du local concerné.
- Le coefficient de transmission thermique de la toiture ne dépasse pas $U = 0.20 \text{ W/(m}^2\text{·K)}$.
- Des protections solaires extérieures mobiles de classe 6 de résistance au vent selon norme 342, annexe B.2, sont installées sur toutes les fenêtres. Le coefficient g_{tot} de transmission énergétique global de la fenêtre (vitrage et protection solaire) ne doit pas dépasser 0.10.
- La profondeur du local depuis chaque fenêtre est d'au moins 3.5m. Les fenêtres opposées doivent avoir au moins 7m de distance entre elles. ».

ANNEXE IV

BILAN THERMIQUE D'UN BATIMENT

La figure suivante, qui aide à mieux comprendre les composants du bilan thermique d'un bâtiment, est tirée de la norme SIA 380/1, éd. 2009 (Figure 1).



- 1 limite du système pour la détermination des besoins de chaleur pour le chauffage
- 2 limite du système pour la détermination des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire
- 3 limite du système installations de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire
- 4 limite du système bâtiment
- E_{Fei} besoins d'électricité pour l'éclairage et les installations techniques du bâtiment
- E_{Fhww} besoins d'énergie finale pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (par agent énergétique)
- Q_g apports de chaleur
- Q_h besoins de chaleur pour le chauffage
- Q_{hw} besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Q_i apports de chaleur internes
- Q_{iei} apports de chaleur internes des installations électriques
- Q_{ip} apports de chaleur internes dus aux personnes
- Q_L pertes de chaleur du système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire (pertes à la production, au stockage et à la distribution)
- Q_r chaleur soutirée à l'environnement
- Q_s apports de chaleur solaires
- Q_T déperditions par transmission
- Q_{tot} déperditions totales
- Q_{ug} apports de chaleur utiles
- Q_v déperditions par renouvellement d'air
- Q_{ww} besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire
- RC récupération de chaleur

ANNEXE V

DEFINITIONS

Coefficient de performance (COP)⁴⁹ :

Le COP ou coefficient de performance d'une pompe à chaleur (ou d'un climatiseur) est le rapport entre la puissance thermique et sa consommation électrique.

Énergie utile⁵⁰ :

Énergie thermique directement à disposition du consommateur, par exemple sous forme de chaleur ambiante, de chaleur soustraite au milieu ambiant (réfrigération) ou d'eau chaude au robinet.

Énergie finale⁵¹ :

Énergie à disposition du consommateur pour la transformation en énergie utile. En font partie l'énergie fournie par le dernier échelon du réseau commercial (y compris réseaux voisins) et l'énergie produite et utilisée sur site.

Indice de dépense de chaleur (IDC)⁵² :

L'indice de dépense de chaleur (IDC) est un indicateur de la consommation d'énergie d'un bâtiment pour couvrir ses besoins de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire). Cet indice est constitué de l'énergie consommée annuellement pour le chauffage, divisée par la surface brute du logement. L'unité utilisée est le "Mégajoule par mètre carré et par an".

Surface de référence énergétique (SRE)⁵³ :

Total de toutes les surfaces brutes de plancher des locaux conditionnés, situés au-dessous et au-dessus du niveau du terrain et qui sont comprises à l'intérieur de l'enveloppe thermique. Les surfaces brutes de plancher d'une hauteur utile inférieure à 1,0 m ne comptent pas dans la surface de référence énergétique. Pour d'autres précisions, voir SIA 380.

Surface utile principale (SUP)⁵⁴ :

Partie de la surface utile SU qui est affectée aux fonctions répondant à la destination, au sens strict, de l'immeuble.

Surface utile (SU)⁵⁵ :

Partie de la surface nette SN qui est affectée aux fonctions répondant à la destination, au sens large, de l'immeuble. Elle se subdivise en :

⁴⁹ Selon ClimaMaison : <https://www.climamaison.com/lexique/cop.htm>

⁵⁰ Selon SIA 416/1 : 2007 ;

⁵¹ Selon SIA 416/1 : 2007 ;

⁵² Selon l'Office cantonal de l'énergie de Genève - <https://www.ge.ch/optimiser-consommation-chaleur-batiment>;

⁵³ Selon SIA 380/1 : 2016 ;

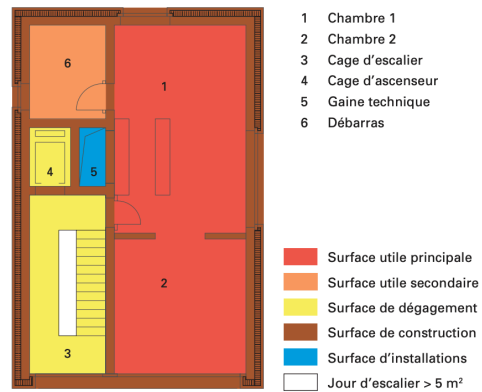
⁵⁴ SIA 416/1 : 2007 ;

⁵⁵ SIA 416/1 : 2007 ;

- Surface utile principale SUP,
- Surface utile secondaire SUS.

La figure suivante, tirée de la norme SIA 416/1 : 2007 permet de mieux appréhender les définitions précédentes :

Figure 2 Surface de plancher dans les cages d'escalier, les cages d'ascenseurs, les gaines techniques et les jours d'escaliers de plus de 5 m²



ANNEXE VI

VALEURS UTILISEES DANS L'OUTIL

- Degrés-jours mensuels à Genève entre 2010 et 2017⁵⁶

Degrés-jours Genève	Moyenne 2010/17	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janvier	495.8	569.9	480	467.5	517.6	430.7	477.6	429	593.8
Février	439.4	448.1	417	582.1	493.3	370	457.4	377.6	369.8
Mars	333.7	369.6	333	281.6	428.3	295.3	325.2	370.8	266.1
Avril	163.7	165	83	219.1	206	115.6	128.6	215.3	176.8
Mai	78.3	119.5	33	44.2	156.3	63.6	24.2	97.4	88.5
Juin	2.4	6	7	0	6.2	0	0	0	0
Juillet	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
Août	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septembre	18.5	42	7	20	6.4	0	21.5	0	51.4
Octobre	155.6	202	171	146.6	92.9	83.4	216.5	223	109.1
Novembre	341.2	337	339	318.8	348.8	287.9	321.4	354.8	422.2
Décembre	476.2	549.5	429.1	466.4	504.3	425.9	436.5	516.1	481.9

- Température moyenne mensuelle à Genève⁵⁷

Mois	Température moyenne [°C]
Janvier	1.7
Février	2.9
Mars	6.5
Avril	9.4
Mai	14.4
Juin	17.6
Juillet	20.2
Août	20
Septembre	15.4
Octobre	11.2
Novembre	5.6

⁵⁶ <https://www.ge.ch/document/energie-degres-jour/telecharger> ;

⁵⁷ SIA 2028, éd. 2010 - Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment

Décembre	3.1
Moyenne Annuelle	10.7

- Rayonnement solaire global mensuel sur le plan de la fenêtre⁵⁸

Rayonnement solaire global mensuel sur le plan de la fenêtre G_(mois)	Est	Sud	Ouest	Nord	N-E	N-O	S-E	S-O
Janvier	64	163	78	40	52	59	113.5	120.5
Février	106	244	126	60	83	93	175	185
Mars	206	362	222	96	151	159	284	292
Avril	259	319	251	119	189	185	289	285
Mai	319	308	305	163	241	234	313.5	306.5
Juin	350	293	329	189	269.5	259	321.5	311
Juillet	364	327	354	185	274.5	269.5	345.5	340.5
Août	327	362	313	147	237	230	344.5	337.5
Septembre	226	355	238	101	163.5	169.5	290.5	296.5
Octobre	134	292	161	70	102	115.5	213	226.5
Novembre	67	174	83	41	54	62	120.5	128.5
Décembre	54	150	62	32	43	47	102	106

- Taux de renouvellement d'air selon le type d'installation de ventilation⁵⁹

	installations de ventilation	taux non-contrôlé par les fenêtres [h ⁻¹]	taux de renouvellement d'air total[h ⁻¹]	taux contrôlé [h ⁻¹]
avant	ventilation naturelle bâtiments avant 1940	0.42	0.9	0.48
	ventilation naturelle bâtiments période 1950-60	0.28	0.6	0.32
	ventilation mécanique période 1970-90	0.21	0.4	0.19

⁵⁸ SIA 2028, éd. 2010 - Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment

⁵⁹ Selon la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* ;

après	ventilation contrôlée, extraction mécanique	0.14	0.3	0.16
	double flux avec RC à flux croisés	0.14	0.23	0.09
	simple flux avec RC	0.14	0.3	0.16

- Fenêtres : facteurs de transmission d'énergie solaire g, coefficient de transmission thermique U et taux de renouvellement d'air non-contrôlé n_{air} ⁶⁰

type de vitrage (fenêtres existantes)	valeur g	valeur U	n_air non contrôlé		
			laissé en l'état	rénové	cadres neufs
simple vitrage	0.85	4.7	0.42	0.28	0.14
verre double transparent	0.77	2.7	0.28	0.21	0.14
double vitrage transparent	0.77	2.8	0.21	0.18	0.14
triple vitrage transparent	0.69	2.2	0.14	0.14	0.14

- Rendement des systèmes de production de chaleur⁶¹

Type de production de chaleur pour chauffage	η_{moy}
chaudière à gaz	0.825
chaudière à gaz à condensation	0.9
chaudière à mazout	0.825
chaudière à mazout à condensation	0.9
chaudière à pellets de bois	0.725
CAD au bois	0.95
CADIOM	0.95
CAD au gaz	0.95
chauffage électrique direct	0.95
PAC air/eau	3.25

⁶⁰ Selon la *Directive relative au calcul de la baisse prévisible des consommations de chaleur et de la baisse prévisible des charges* ;

⁶¹ Selon la SIA 380/1 : 2009 – Annexe D

PAC saumure/eau	3.9
PAC eau/eau	4.05

<u>Type de production de chaleur pour l'ECS</u>	η_{moy}
laissé en l'état	0.8
boiler électrique	0.925
chaudière à gaz	0.825
chaudière à mazout	0.825
PAC air/eau	2.6

- Prix des différents agents énergétiques⁶²

Agent énergétique	cts/MJ	CHF/kWh
mazout	2.22	0.080
gaz naturel	1.95	0.070
CAD au gaz	2.83	0.102
électricité pour PAC	4.99	0.180
électricité pour chauffage direct	5.29	0.190
CADIOM	1.41	0.051
pellets de bois	1.88	0.068
CAD au bois	3.19	0.115

⁶² Arrêté fixant le prix moyen du mégajoule par agent énergétique (ArPMAE), https://www.ge.ch/legislation/rsg/f/rsg_L2_30p03.html

ANNEXE VII

MODE D'EMPLOI ET MAINTENANCE DE L'OUTIL

Utilisation de l'outil

L'outil est décomposé en plusieurs feuilles :

The screenshot shows a spreadsheet application with the following sections visible:

- Global** (rows 2-8): Contains general building data.

surface de référence énergétique des appartements rénovés	SRE	(m2)	6166	- à remplir -
état local initial	EL_initial	(CHF/pièce/an)	4865	- à remplir -
nombre de pièces dans l'immeuble	#pièces	(pièces)	255.6	- à remplir -
Surface utile principale	SUP	(m2)	4316.2	- à remplir -
taux d'actualisation	a	(-)	0.01	- à remplir -
- Éléments opaques** (rows 9-23): Divided into 'contre extérieur' and 'contre non chauffé'.

Éléments opaques contre extérieur				
Coefficient de transmission thermique avant intervention	U_avant	(W/(m2K))	0.6312	- à remplir -
surface de toiture rénovée	A_toit	(m2)	760	- à remplir -
surface de murs contre extérieur rénovée	A_murs_ext	(m2)	2152	- à remplir -
isolation intérieure ou extérieure	(-)	(-)	extérieure	- liste déroulante -
Éléments opaques contre non chauffé				
Coefficient de transmission thermique avant intervention	U_avant	(W/(m2K))	0.6312	- à remplir -
surface rénovée - murs contre non chauffé jusqu'à 2m enterrés	A_nc_murs <2m	(m2)	0	- à remplir -
surface rénovée - sols contre non chauffé jusqu'à 2m enterrés	A_nc_sols <2m	(m2)	742	- à remplir -
surface rénovée - murs contre non chauffé à +2m enterrés	A_nc_murs >2m	(m2)	0	- à remplir -
surface rénovée - sols contre non chauffé à +2m enterrés	A_nc_sols >2m	(m2)	0	- à remplir -
surface rénovée contre non chauffé	A_nc	(m2)	742	- à remplir -
isolation intérieure ou extérieure	(-)	(-)	extérieure	- liste déroulante -
- Fenêtres** (rows 24-36): Details window characteristics.

type de fenêtres existantes avant rénovation	(-)	(-)	double vitrage transparent	- liste déroulante -
Surfaces de fenêtres rénovées par façade				
Est	A_est	(m2)	0	- à remplir -
Sud	A_sud	(m2)	0	- à remplir -
Ouest	A_ouest	(m2)	0	- à remplir -
Nord	A_nord	(m2)	0	- à remplir -
N-E	A_NE	(m2)	355	- à remplir -
N-O	A_NO	(m2)	68	- à remplir -
S-E	A_SE	(m2)	68	- à remplir -
S-O	A_SO	(m2)	360	- à remplir -
surface de stores rénovés	A_stores	(m2)	851	- à remplir -
- Ventilation** (rows 37-40): Details ventilation system.

type d'installation de ventilation avant	(-)	(-)	ventilation mécanique période 1970-90	- liste déroulante -
puissance électrique du système de ventilation avant travaux	P_avant	(W/(m3h))	0.37	- à remplir -
- Production de chaleur** (rows 41-47): Details heating system.

Système de production de chaleur et de ventilation AVANT rénovation				
système de production de chaleur pour chauffage avant rénovation	(-)	(-)	chaudière à gaz	- liste déroulante -
système de production de chaleur pour l'ECS avant rénovation	(-)	(-)	chaudière à gaz	- liste déroulante -
agent énergétique chauffage avant	(-)	(-)	gaz naturel	- liste déroulante -
système de ventilation avant rénovation	(-)	(-)	ventilation mécanique période 1970-90	- liste déroulante -
indice de chaleur corrigé, 3 dernières années avant rénovation	IDC	(MJ/m2)	620	- à remplir -
- Evaluation de la rentabilité économique** (rows 48-58): Details economic evaluation.

Scénario 1				
choix du système de production	(-)	(-)	laissé en l'état	- liste déroulante -
système de production pour chauffage après rénovation - Scénario 1	(-)	(-)	laissé en l'état	- liste déroulante -
système de production principal pour ECS après rénovation - Scénario 1	(-)	(-)	laissé en l'état	- liste déroulante -
SI PAC - Puissance de la PAC	P_PAC	(kW)	0	- à remplir -
SI solaire thermique - Puissance du solaire thermique	P_solaire	(kW)	32.3715	- à remplir -
agent énergétique chauffage après - Scénario 1	(-)	(-)	gaz naturel	- liste déroulante -
puissance à fournir	P_besoins	(W/m2)	50	- à remplir -
type de ventilation	(-)	(-)	inchangé	- liste déroulante -

Below the spreadsheet, four boxes describe the sections:

- Input :** Renseignement des caractéristiques du bâtiment
- Scénario :** Feuilles de calcul pour chaque scénario selon méthodologie
- Données :** Valeurs des paramètres utilisés pour les calculs
- Résultats :** Détail des résultats obtenus pour chaque scénario

Figure 31 : Illustration de l'outil

- Une feuille « input » : toutes les informations concernant l'état initial du bâtiment doivent y être renseignées. Ces informations sur l'existant sont divisées en 5 catégories

– « global », « éléments d’enveloppe opaques », « fenêtres », « ventilation » et « production de chaleur ». La colonne grise à droite donne des informations sur le type de réponse attendue dans chaque case. « À remplir » signifie que l’utilisateur doit fournir la valeur demandée. « Liste déroulante » signifie que l’utilisateur doit sélectionner une réponse parmi celles proposées. « - » signifie soit que l’utilisateur ne doit pas remplir cette case car sa valeur dépend d’une réponse déjà fournie (la case est alors verrouillée), soit qu’une valeur correspondant à une hypothèse définie dans la méthodologie a été attribuée à cette case, et que l’utilisateur peut choisir de conserver cette valeur ou de l’ajuster au cas étudié. C’est aussi dans cette feuille que l’utilisateur définit ses choix concernant les différents scénarios. Une série de listes déroulantes permet à l’utilisateur de préciser ses choix pour chaque scénario. Pour chaque scénario, des facteurs correcteurs, initialement égaux à 1, peuvent être modifiés par l’utilisateur pour adapter l’outil à la réalité du cas. Ces facteurs sont appliqués, comme il est expliqué dans la méthodologie, au chiffrage des différents éléments.

- Trois feuilles « scénario (1, 2 et 3) » : les calculs qui ont été expliqués dans la méthodologie sont appliqués dans ces feuilles. Ces feuilles sont verrouillées et ne doivent pas être modifiées par l’utilisateur. Tous les choix d’adaptation doivent être faits dans la page « input ». Ces feuilles sont construites en suivant au plus près la structure de la méthodologie pour être facilement compréhensibles. Ceci afin que l’outil puisse facilement être repris, mis à jour et développé par n’importe qui.
- Une feuille « données » : cette feuille est également verrouillée et masquée. C’est là que sont regroupés les tableaux d’informations pour les critères de l’outil. Il a été choisi de les rassembler dans une feuille à part, et non dans les feuilles « scénarios », par soucis de lisibilité et de compréhension de celles-ci.
- Une feuille « résultat » : c’est là que l’utilisateur de l’outil peut, après avoir rempli les informations sur le bâtiment existant et fait ses choix de scénarios, trouver le détail des résultats obtenus.

Maintenance

Cet outil a été conçu avec la volonté d'être facilement compréhensible par quelqu'un d'extérieur à sa conception. Les calculs des scénarios sont structurés comme dans la méthodologie. Ainsi, une personne extérieure à ce projet peut aisément comprendre et modifier cet outil, que ce soit pour mettre à jour les critères utilisés ou pour continuer de le développer. Les cellules de l'outil sont verrouillées pour en faciliter l'utilisation. Le mot de passe qui permet de les déverrouiller est :

Mot de passe : 0000